



TESIS- MN142532

STUDI SLOSHING TANGKI LNG DENGAN METODE EKSPERIMEN DAN COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)

MUHAMMAD ARIF PRADANA
04111650032002

DOSEN PEMBIMBING

Aries Sulisetyono, ST., MA.Sc., Ph.D
NIP. 19710320 199512 1 002

PROGRAM MAGISTER
TEKNIK PRODUKSI DAN MATERIAL KELAUTAN
PROGRAM STUDI TEKNOLOGI KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019



TESIS- MN142532

STUDI SLOSHING TANGKI LNG DENGAN METODE EKSPERIMEN DAN COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)

MUHAMMAD ARIF PRADANA
04111650032002

DOSEN PEMBIMBING

Aries Sulisetyono, ST., MA.Sc., Ph.D
NIP. 19710320 199512 1 002

PROGRAM MAGISTER
TEKNIK PRODUKSI DAN MATERIAL KELAUTAN
PROGRAM STUDI TEKNOLOGI KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019



THESIS - MN142532

STUDY OF SLOSHING LNG TANKS WITH EXPERIMENT METHODS AND COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)

MUHAMMAD ARIF PRADANA
04111650032002

SUPERVISOR

Aries Sulisetyono, ST., MA.Sc., Ph.D
NIP. 19710320 199512 1 002

MAGISTER PROGRAM
MARINE PRODUCTION AND MATERIAL ENGINEERING
DEPARTEMEN OF NAVAL ARCHITECTURE AND SHIPBUILDING ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2019

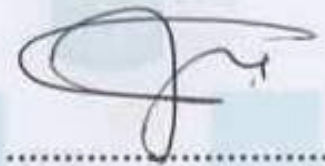
LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
oleh :
MUHAMMAD ARIF PRADANA
NRP 04111650032002

Tanggal Ujian : 22 Januari 2019
Periode Wisuda : Maret 2019

Disetujui oleh :

1. Aries Sulisetyono, ST., MAsC., Ph.D.
NIP. 19710320 199512 1 002



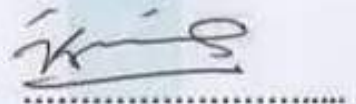
2. Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D.
NIP. 19670406 199203 1 001



3. Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.
NIP. 19640210 198903 1 003



4. Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc.
NIP. 19691231 200604 1 78



Dekan Fakultas Teknologi Kelautan,

Prof. Dr. Achmad Zubaidi, M.Eng., Ph.D.
NIP. 19590505 198403 1 012

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul **“STUDI SLOSHING TANGKI LNG DENGAN METODE EKSPERIMEN DAN COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)”**. Adapun maksud penulisan tesis ini yaitu sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik di Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Selama pelaksanaan penelitian dan penulisan tesis ini banyak pihak yang telah membantu dan mendukung, karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Aries Sulisetyono, ST., MASc., Ph.D. sebagai pembimbing yang telah membimbing dan mengarahkan penulis selama proses penelitian.
2. Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc.,Ph.D. selaku Kepala Departemen Teknik Perkapalan sebagai pimpinan instansi penulis menimba ilmu dan menempuh studi Magister.
3. Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Eng., Ph.D, Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc.,Ph.D. dan Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc selaku penguji sidang tesis yang telah memberikan penilaian dan masukan untuk kesempurnaan penelitian.
4. Seluruh Dosen Program Pasca Sarjana Teknik Perkapalan FTK ITS yang telah membimbing penulis hingga mampu menempuh pendidikan Magister.
5. Bapak, Ibu dan Adik yang telah memberikan dukungan, kasih sayang dan doa yang tak ternilai harganya, selama penulis menimba ilmu.
6. Rekan-rekan Pasca Sarjana Teknik Perkapalan dan Transportasi Laut 2016 dan 2017, yang telah bersama-sama dalam suka duka menuntut ilmu bersama-sama dengan penulis.
7. Rekan-rekan seperjuang di Asrama Kader Surau dan SDM IPTEK, yang selalu mendukung dan mendoakan penulis.
8. Team CV Sinar Teknik Mandiri yang telah mendukung pembuatan dan pengujian tangki dalam penelitian ini.

9. Ir. Agoes Achmad Masroeri M.Eng, D.Eng dan Team NASDEC yang telah mendukung proses simulasi numerik menggunakan software CFD Ansys Fluent dalam penelitian ini.
10. Dan seluruh pihak yang tidak bisa kami sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa penelitian tesis ini masih memiliki banyak kelemahan dan kekurangan, oleh karena itu sangat diharapkan saran yang membangun agar penelitian ini lebih dapat disempurnakan.

Surabaya, Januari 2019

Penulis

STUDI SLOSHING TANGKI LNG DENGAN METODE EKSPERIMEN DAN COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)

Nama Mahasiswa : Muhammad Arif Pradana
NRP : 04111650032002
Dosen Pembimbing I : Aries Sulisetyono, ST., MAsc., Ph.D.

ABSTRAK

Sloshing adalah gerakan bebas cairan cair dalam tangki. Masalah sloshing adalah fenomena penting dalam tangki muatan cair, karena dapat menyebabkan kerusakan pada struktur dalam tangki. Makalah ini menjelaskan efek dari jumlah tekanan pada tangki kota dengan dan tanpa penambahan baffle ketika sloshing terjadi karena gerakan rolling yang terjadi pada tangki. Pemodelan tangki berbentuk tangki kotak dengan 3 variasi model *non baffle*, 1 *baffle* dan 2 *baffle* dengan *filling level* 15%, 30%, 90% dan disimulasikan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamic (CFD) software Ansys Fluent*. Untuk proses validasi dilakukan dengan *convergency*, *grid independence* dan perbandingan hasil simulasi numerik dengan hasil pengujian tangki dengan metode RMSE yang nilainya sebesar 0.67-0.83. Hasil simulasi, bahwa tekanan hasil *sloshing* mengalami kenaikan sesuai dengan kenaikan variasi *filling level*, nilai tekanan terbesar terjadi pada penggunaan 2 *baffle* *filling level* 90% yaitu 1476.87 Pa. Penggunaan *baffle* berhasil berfungsi sebagai peredam tekanan ketika *filling level* 15% yaitu mencapai 37% dari nilai tekanan tangki *non baffle*, sedangkan pada *filling level* 30% dan *filling level* 90% tekanan mengalami kenaikan dikarenakan *baffle* tidak dapat berfungsi disebabkan munculnya gaya permukaan cairan sehingga menyebabkan gelombang yang lebih tinggi diatas *baffle*, dapat disimpulkan bahwa fungsi *baffle* lebih efisien ketika ketinggian *baffle* lebih tinggi dari *filling level* pada tangki.

Kata kunci: *Sloshing, Baffle, CFD Ansys Fluent, Filling Level*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

STUDY OF SLOSHING LNG TANKS WITH EXPERIMENT METHODS AND COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)

Student Name : Muhammad Arif Pradana
NRP : 04111650032002
Supervisor : Aries Sulisetyono, ST., MAsC., Ph.D.

ABSTRACT

Sloshing is a free movement of liquid liquid in the tank. The problem of sloshing is an important phenomenon in the liquid cargo tank, because it can cause damage to the structure in the tank. This paper explains the effect of the amount of pressure on the city tank with and without the addition of baffle when sloshing occurs due to rolling movements that occur in the tank. Tank tank-shaped modeling with 3 variations of non-baffle, 1 baffle and 2 baffles with filling levels of 15%, 30%, 90% and simulated using the Computational Fluid Dynamic (CFD) Ansys Fluent. The process validation carried out by convergency, independence grid and comparison of numerical simulation results with the results of tank testing with RMSE method value is 0.67-0.83. The results, the sloshing pressure increases according to the increase in filling level variation, the greatest pressure value occurs in the use of 2 baffles filling level 90%, is 1476.87 Pa. The use of baffle works as a pressure reducer when filling level 15%, which reaches 37% of the value of non baffle tank pressure, while the filling level is 30% and 90% the pressure increases because the baffle cannot function due to the emergence of the surface force higher than the baffle, it can be concluded that the baffle function is more efficient when the baffle height is higher than the filling level in the tank.

Keywords: *Sloshing, Baffle, CFD Ansys Fluent, Filling Level*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
ABSTRAK	xi
ABSTRACT	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL	xxiii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat.....	4
1.5 Hipotesa.....	4
1.6 Batasan Masalah.....	4
BAB II	7
KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	7
2.1 Karakteristik LNG.....	7
2.1.1 Viskositas	7
2.1.2 Filling Level	8
2.2 Floating, Production, Storage and Offloading (FPSO)	9
2.3 Klasifikasi Tangki LNG	11
2.4 Teori Gelombang.....	12
2.4.1 Formulasi Gerak Harmonis Sederhana	13
2.4.2 Gelombang Sinusoidal	14
2.5 Respon Gerakan Kapal pada Gelombang.....	16
2.5.1 Olah Gerak Kapal dalam 6-Derajat Kebebasan	16

2.5.2	<i>Rolling</i>	18
2.5.3	Response Amplitudo Operator (RAO)	18
2.6	<i>Sloshing</i>	20
2.6.1	<i>Sloshing Load Assesment</i>	21
2.6.2	<i>Dinamika Sloshing</i>	22
2.6.3	<i>Eksitasi Sloshing</i>	23
2.6.4	Permodelan Sloshing	24
2.6.4.1	<i>Volume Of Fluid</i>	24
2.6.4.2	Persamaan Navier-Stokes	25
2.6.4.3	Smooted Particle Hydrodynamics (SPH)	26
2.6.5	Permodelan Aliran Turbulen	28
2.6.5.1	k-epsilon	29
2.7	<i>COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC (CFD)</i>	30
1.8	CFD ANSYS FLUENT	32
2.8.1	Metode Diskritisasi Fluent	32
2.8.1	Solver pada Ansys Fluent	33
2.8.2	Grid Independence	34
BAB III		37
METODOLOGI PENELITIAN		37
3.1	Tahapan Penelitian	37
3.2	Studi Literatur	38
3.3	Pengumpulan Data Kapal	38
3.3.1	RAO Rolling Hasil Eksperimen dari MARIN-FPSO	40
3.3.2	Perhitungan Gerakan Kapal	41
3.3.3	Perhitungan Periode <i>Rolling</i>	44
3.3.4	Perhitungan Ketinggian Cairan	45
3.3.5	Perhitungan Jarak KG Rolling	45

3.3.6	Pendefinisian Gerakan Rolling pada UDF	46
3.3.7	<i>User Defined Function</i>	47
3.4	Permodelan Geometri Tangki	47
3.5	Simulasi Model Tangki dengan Software CFD Ansys Fluent	50
3.5.1	Geometry	50
3.5.2	Meshing	52
3.5.3	Set Up	53
3.5.4	Solution	59
3.5.5	Results	62
3.6	Validasi	62
3.6.1	<i>Convergence</i>	63
3.6.2	<i>Grid Independence</i>	64
3.7	Variasi Permodelan <i>Filling Level</i> Tangki	66
BAB IV		67
EKSPERIMEN MODEL TANGKI		67
4.1	Pengujian Model Tangki Kotak	67
BAB V		73
ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN		73
5.1	Analisa Hasil Pengujian Tangki Kotak	73
5.1.1	<i>Non Baffle Filling level 15%</i>	73
5.1.2	<i>1 Baffle Filling level 15%</i>	74
5.1.3	<i>2 Baffle Filling level 15%</i>	76
5.1.4	<i>Non Baffle Filling level 30%</i>	77
5.1.5	<i>1 Baffle Filling level 30%</i>	78
5.1.6	<i>2 Baffle Filling level 30%</i>	80
5.1.7	<i>Non Baffle Filling level 90%</i>	81
5.1.8	<i>1 Baffle Filling level 90%</i>	83

5.1.9	2 Baffle Filling level 90%.....	84
5.2	Validasi Hasil Simulasi dengan Pengujian	86
5.3	Analisa Hasil Variasi <i>Filling Level</i> pada Tangki	94
4.3.1	<i>Filling Level</i> 15%	94
4.3.2	<i>Filling Level</i> 30%	96
4.3.3	<i>Filling Level</i> 90%	99
BAB VI.....		103
KESIMPULAN DAN SARAN.....		103
6.1	Kesimpulan.....	103
6.2	Saran	104
DAFTAR PUSTAKA		105
LAMPIRAN		107

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ilustrasi LNG Plant Production oleh Cell Corp	7
Gambar 2.2 FPSO Production System (Wikipedia).....	10
Gambar 2.3 Kapal FPSO (Wikipedia)	10
Gambar 2.4 Klasifikasi Tangki LNG menurut IMO (Delpizzo, 2014).....	12
Gambar 2.5 Ilustrasi Gerak Harmonis Sederhana.....	13
Gambar 2.6 Karakteristik pada Gerak Harmonis Sederhana	14
Gambar 2. 7 Representasi Gelombang Sinusoidal.....	15
Gambar 2.8 Notasi Umum dan Konvensi Simbol Deskripsi Olah Gerak Kapal ..	17
Gambar 2.9 Bentuk Umum Grafik Respons Gerakan Kapal	19
Gambar 2.10 Fenomena Sloshing pada Tangki Memanjang (Khezzar & Seibi, 2009).....	21
Gambar 2.11 Ilustrasi Skema Sloshing.....	22
Gambar 2. 12 Skema Solver pada Volume of Fluid Multifase (Anwar, 2013)	34
 Gambar 3.1 Bagan Alir Rencana Penelitian	 37
Gambar 3.2 Lokasi Tangki pada Kapal	39
Gambar 3.3 Tangki pada kapal dengan Marxsuf	39
Gambar 3.4 Grafik RAO Hasil Experiment MARIN-FPSO	40
Gambar 3.5 Grafik Roll RAO	41
Gambar 3.6 Grafik Respons Gerakan Kapal	44
Gambar 3. 7 Penentuan Titik KG Rolling Tangki	45
Gambar 3. 8 Pembuatan UDF	47
Gambar 3.9 Detail Model Tangki	48
Gambar 3.10 Model Tangki Pengujian	48
Gambar 3.11 Model Tangki Simulasi	49
Gambar 3. 12 Proses Simulasi CFD Ansys Fluent	50
Gambar 3. 13 Lokasi Kondisi Batas	51
Gambar 3.14 Meshing Tangki Simulasi	52
Gambar 3. 15 <i>Fluent Launcher</i>	53
Gambar 3.16 Set Up General	54
Gambar 3.17 Set Up Model	55

Gambar 3. 18 Set Up Multiphase dan Viscous.....	55
Gambar 3. 19 Set Up Operating Condition	56
Gambar 3. 20 Compeling UDF.....	57
Gambar 3. 21 Metode Dynamic Mesh.....	58
Gambar 3. 22 Region Adaption.....	59
Gambar 3. 23 <i>Set Up Patching</i>	60
Gambar 3. 24 <i>Time Step Definition</i>	60
Gambar 3. 25 <i>Set Up Automatic Report</i>	61
Gambar 3.26 Hasil Simulasi Tangki Pada CFD Ansys Fluent.....	62
Gambar 3.27 Grafik Batas Konvergensi.....	63
Gambar 3.28 <i>Grid Independence</i> pada Tangki Non Baffle.....	64
Gambar 3. 29 Grid Independence pada Tangki 1 Baffle	65
Gambar 3. 30 Grid Independence pada Tangki 2 Baffle	65
Gambar 4. 1 Desain Tangki Pengujian	67
Gambar 4. 2 Tangki Kotak Pengujian	68
Gambar 4. 3 Kerangka Dudukan Tangki Kotak Pengujian	69
Gambar 4. 4 Pemasangan Motor, Gearbox dan Pulley.....	70
Gambar 4. 5 Pemasangan Esentric pada Tangki Kotak Pengujian.....	70
Gambar 4. 6 Proses Pengujian Tangki Kotak.....	71
Gambar 5. 1 Tangki Uji Non Baffle FL 15%, t :0 s	73
Gambar 5. 2 Tangki Uji Non Baffle FL 15%, t :3 s	73
Gambar 5. 3 Tangki Uji Non Baffle FL 15%, t :9 s	74
Gambar 5. 4 Tangki Uji 1 Baffle FL 15%, t :0 s	74
Gambar 5. 5 Tangki Uji 1 Baffle FL 15%, t :3 s	75
Gambar 5. 6 Tangki Uji 1 Baffle FL 15%, t :9 s	75
Gambar 5. 7 Tangki Uji 2 Baffle FL 15%, t :0 s	76
Gambar 5. 8 Tangki Uji 2 Baffle FL 15%, t :3 s	76
Gambar 5. 9 Tangki Uji 2 Baffle FL 15%, t :9 s	77
Gambar 5. 10 Tangki Uji <i>Non Baffle</i> FL 30%, t :0 s.....	77
Gambar 5. 11 Tangki Uji Non Baffle FL 30%, t :3 s	78
Gambar 5. 12 Tangki Uji Non Baffle FL 30%, t :9 s	78

Gambar 5. 13 Tangki Uji 1 <i>Baffle</i> FL 30%, t :0 s	79
Gambar 5. 14 Tangki Uji 1 <i>Baffle</i> FL 30%, t :3 s	79
Gambar 5. 15 Tangki Uji 1 <i>Baffle</i> FL 30%, t :9 s	79
Gambar 5. 16 Tangki Uji 2 <i>Baffle</i> FL 30%, t :0 s	80
Gambar 5. 17 Tangki Uji 2 <i>Baffle</i> FL 30%, t :3 s	80
Gambar 5. 18 Tangki Uji 2 <i>Baffle</i> FL 30%, t :9 s	81
Gambar 5. 19 Tangki Uji Non <i>Baffle</i> FL 90%, t :0 s	81
Gambar 5. 20 Tangki Uji Non <i>Baffle</i> FL 90%, t :3 s	82
Gambar 5. 21 Tangki Uji Non <i>Baffle</i> FL 90%, t :9 s	82
Gambar 5. 22 Tangki Uji 1 <i>Baffle</i> FL 90%, t :0 s	83
Gambar 5. 23 Tangki Uji 1 <i>Baffle</i> FL 90%, t :3 s	83
Gambar 5. 24 Tangki Uji 1 <i>Baffle</i> FL 90%, t :9 s	83
Gambar 5. 25 Tangki Uji 2 <i>Baffle</i> FL 90%, t :0 s	84
Gambar 5. 26 Tangki Uji 2 <i>Baffle</i> FL 90%, t :3 s	85
Gambar 5. 27 Tangki Uji 2 <i>Baffle</i> FL 90%, t :9 s	85
Gambar 5. 28 Hasil Uji Tangki Kotak NB FL 15% t : 3 s	86
Gambar 5. 29 Hasil Simulasi Tangki Kotak NB FL 15%, t : 3 s	86
Gambar 5. 30 Validasi Tangki <i>Non Baffle</i> pada <i>Filling Level</i> 15%	87
Gambar 5. 31 Hasil Uji Tangki Kotak 1B FL 15% t : 3 s	88
Gambar 5. 32 Hasil Simulasi Tangki Kotak 1B FL 15%, t : 3 s	88
Gambar 5. 33 Validasi Tangki 1 <i>Baffle</i> pada <i>Filling Level</i> 15%	89
Gambar 5. 34 Hasil Uji Tangki Kotak 2B FL 15 t : 3s	90
Gambar 5. 35 Hasil Simulasi Tangki Kotak 2B FL 15%, t : 3 s	90
Gambar 5. 36 Validasi Tangki 2 <i>Baffle</i> pada <i>Filling Level</i> 15%	91
Gambar 5. 37 Hasil Pressure pada Tangki Non <i>Baffle</i>	94
Gambar 5. 38 Hasil Pressure pada 1 <i>Baffle</i>	95
Gambar 5. 39 Hasil Pressure pada 2 <i>Baffle</i>	95
Gambar 5. 40 Hasil Pressure pada Tangki <i>Non Baffle</i>	97
Gambar 5. 41 Hasil Pressure pada Tangki 1 <i>Baffle</i>	97
Gambar 5. 42 Hasil Pressure pada Tangki 2 <i>Baffle</i>	98
Gambar 5. 43 Hasil Pressure pada Tangki <i>Non Baffle</i>	99
Gambar 5. 44 Hasil Pressure pada Tangki 1 <i>Baffle</i>	100
Gambar 5. 45 Hasil Pressure pada Tangki 2 <i>Baffle</i>	101

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Enam Mode Derajat Kebebasan Gerakan Kapal	16
Tabel 3.1 Ukuran utama kapal dan tangki	38
Tabel 3.2 Data Rolling RAO.....	40
Tabel 3.3 Nilai Respon Gerakan Kapal	43
Tabel 3. 4 Ketinggian Fluida sesuai filling level	45
Tabel 3. 5 Model Ukuran Tangki.....	47
Tabel 3. 6 Model Ukuran Baffle	47
Tabel 3.7 <i>Grid Independence</i> pada Tangki Non Baffle	64
Tabel 3.8 Grid Independence pada Tangki 1 Baffle	65
Tabel 3.9 Grid Independence pada Tangki 2 Baffle	66
Tabel 3.10 Variasi Permodelan <i>Filling Level</i> Tangki	66
Tabel 4. 1 Alat dan Bahan Tangki Kotak	68
Tabel 5. 1 Hasil Validasi Tangki <i>Non Baffle Filling Level 15%</i>	87
Tabel 5. 2 Hasil Validasi Tangki 1 <i>Baffle Filling Level 15%</i>	89
Tabel 5. 3 Hasil Validasi Tangki 2 <i>Baffle Filling Level 15%</i>	91
Tabel 5. 4 Validasi Tangki Kotak dengan Variasi <i>Filing Level</i>	92
Tabel 5. 5 Hasil Tekanan pada <i>Filling Level 15%</i>	96
Tabel 5. 6 Hasil Tekanan pada Filling Level 30%	99
Tabel 5. 7 Hasil Tekanan pada <i>Filling Level 90%</i>	101
Tabel 5. 8 Hasil Tekanan pada Variasi <i>Filling Level</i>	102

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Pada saat ini gas alam dikirim melalui laut dalam bentuk yang telah dicairkan dimana bertujuan untuk mengurangi volume gas yang dibutuhkan dan memungkinkan proses pengiriman lebih menguntungkan ditinjau dari segi ekonomi. Akibat jenis muatannya yang khusus maka kapal jenis *liquefied gas carriers* memiliki karakteristik konstruksi khusus, serta bentuk tangki ruang muat yang berbeda dari jenis kapal pada umumnya. Berdasarkan jenis muatannya, kapal jenis ini dibagi kedalam dua kategori, yaitu *Liquefied Natural Gas (LNG)* dan *Liquefied Petroleum Gas (LPG) Carriers*.

Sebagai alternatif distribusi LNG maka digunakan kapal FPSO sebagai sarana pengolahan, penyimpanan dan offloading minyak merupakan sarana yang menguntungkan dan efisien. Tantangan yang harus dipecahkan dalam perancangan kapal FPSO masih banyak, mulai dari life time konstruksi tangki terhadap beban gelombang hingga isu-isu seperti manajemen safety pada pengolahan, penyimpanan dan offloading minyak.

Biasanya ada beberapa jenis tangki yang digunakan pada proses pengiriman *liquified gas*, antara lain : *integral tanks, membrane tanks, semi-membrane tanks and independent tanks*. Adapun karakteristik tangki yang diatur dalam peraturan klasifikasi antara lain analisis terhadap bentuk dan jenis tangki, perencanaan tekanan terhadap muatan, serta prosedur pendinginan juga mempengaruhi dasar perencanaan. Tangki muat dengan jenis *independent cargo tanks* merupakan struktur terpisah dan tidak termasuk dalam perhitungan kekuatan memanjang kapal. Berdasarkan IMO, tangki jenis ini dibagi dalam tipe A,B, dan C. Tangki tipe A dan B dirancang sebagai *plane surfaces (gravity tanks)* dan desain tekanan uap kurang dari 0.7 bar. Sedangkan tangki jenis *independent tanks* tipe C merupakan struktur kulit (masuk kedalam kategori *pressure vessels*) pada kriteria perencanaannya, dioperasikan pada batas tekanan uap 20 bar (Lloyd's Register Rulefinder, 2009).

Dalam analisa gerak kapal, efek permukaan bebas dan sloshing di dalam ruang muat biasanya diabaikan. Beberapa waktu yang lalu banyak eksperimental dan studi numerik menunjukkan bahwa efek paduan sloshing dan gerak kapal sangatlah besar terhadap kapal. Ini adalah sebuah perhatian besar bagi operasi kapal FPSO di tempat produksi dan pembongkaran muatan kapal LNG dekat dengan terminal LNG, yang khususnya terjadi ketika meningkatnya permintaan LNG yang lebih besar. Salah satu yang menjadi perhatian utama dalam analisa sloshing adalah akurasi prediksi beban impuls pada struktur internal. Selama terjadi sloshing hebat, pengaruh sloshing berupa beban impact dapat menyebabkan kerusakan struktur tangki, Seperti kasus kerusakan yang dilaporkan oil tanker dan LNG.

Beban sloshing menjadi parameter penting dalam desain tangki kapal FPSO. Beban sloshing yang bekerja terhadap struktur bisa menyebabkan struktur tangki mengalami kerusakan untuk penyimpanan, pada kapal FPSO untuk setiap kapasitas berbeda misalnya 15% - 75% memberikan efek sloshing berupa tegangan, deformasi, tekanan, yang diterima tangki berbeda pula (Lee S J dkk, 2005).

Dalam perancangan FPSO, hal utama untuk menentukan kekuatan struktur harus dipertimbangan berbagai beban yang disangga. Beban tersebut antara lain beban gelombang dan beban statis berupa beban lokal untuk menyangga peralatan. Namun pada FPSO ada satu jenis beban yang sangat spesifik yang ditimbulkan oleh perilaku dinamika fluida dalam tangki, yang dikenal dengan beban sloshing. Masalah sloshing menjadi isu utama dalam desain tangki FPSO. Dalam kasus sloshing pada kapal berjenis FPSO, juga amat mempengaruhi distribusi beban terutama pada sisi samping kapal.

Untuk menganalisa gerakan sloshing, biasanya yang dilakukan adalah dengan memberikan gerakan pada wadah sehingga cairan dapat bergerak secara alami sesuai dengan pergerakan cairan dalam wadah tersebut. Gerakan pada cairan selain dapat menyebabkan kerusakan pada suatu struktur juga mempunyai kemampuan dalam mengganggu stabilitas kapal . Untuk alasan tersebut, maka analisa gerakan sloshing dilakukan, dan untuk mengurangi maupun menghindari terjadinya kerusakan struktur pada lambung kapal dilakukan penelitian dengan cara memberikan suatu peredam gerakan sloshing tersebut (Olav Rognbakke dkk, 2009).

Perencanaan volume ruang muat pada umumnya tidak lebih dari 98% dari volume total tangki pada suhu tertentu berdasarkan jenis muatan yang diangkut. Sedangkan pada kondisi kapal kosong, fluida didalam tangki harus disisakan pada level *flammability range* (dalam vol % : 10% – 15%). Hal ini bertujuan sebagai salah satu komponen dalam sistem pendinginan tangki saat kapal berada dalam kondisi tanpa muatan. Kedua kondisi volume muatan dalam tangki tersebut akan menghasilkan efek gerakan *sloshing* pada pelayaran samudra. Untuk itulah pada penelitian ini akan dilakukan analisa gerakan sloshing tangki yang disebabkan gerakan *rolling* kapal sehingga didapat karakteristik gerakan sloshing yang berupa tegangan, deformasi dan tekanan pada dinding tangki.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh gerakan *rolling* terhadap distribusi tekanan cairan akibat *sloshing* pada dinding tangki observasi?
2. Bagaimana proses simulasi *sloshing* pada *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dengan Metode *Volume of Fluid* (VOF)?
3. Bagaimana memvalidasi hasil simulasi numerik *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dengan pengujian *sloshing*?
4. Bagaimana pengaruh variasi *filling level* terhadap distribusi tekanan cairan pada dinding tangki observasi?
5. Bagaimana cara mengurangi tekanan akibat *sloshing* pada tangki observasi?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Melakukan studi terhadap pengaruh gerakan *rolling* terhadap distribusi tekanan cairan pada dinding tangki observasi
2. Melakukan studi proses simulasi *sloshing* pada *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dengan Metode *Volume of Fluid* (VOF).
3. Melakukan studi validasi hasil simulasi numerik *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dengan pengujian *sloshing*

4. Melakukan studi pengaruh variasi *filling level* terhadap distribusi tekanan cairan pada dinding tangki observasi.
5. Melakukan studi cara mengurangi tekanan akibat *sloshing* pada tangki observasi.

1.4 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan hasil studi terhadap pengaruh gerakan *rolling* terhadap distribusi tekanan cairan pada dinding tangki observasi
2. Memberikan hasil studi proses simulasi *sloshing* pada *Computational Fluid Dynamics* dengan Metode *Volume of Fluid* (VOF).
3. Memberikan hasil studi validasi hasil simulasi numerik *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dengan pengujian *sloshing*
4. Memberikan hasil studi pengaruh variasi *filling level* terhadap distribusi tekanan cairan pada dinding tangki observasi.
5. Memberikan hasil studi cara mengurangi tekanan akibat *sloshing* pada tangki observasi.
- 6.

1.5 Hipotesa

Secara umum, diperkirakan total tekanan terbesar yang dialami oleh dinding tangki penelitian akan terjadi pada gerakan *rolling* kapal yang menyebabkan gerakan *rolling* tangki. Sedangkan untuk tinjauan berdasarkan variasi ketinggian *filling level*, tekanan terbesar diperkirakan akan dialami dinding tangki pada *filling level* sebesar 90% seiring dengan pertambahan *filling level*, namun hal ini dapat dilakukan penambahan baffle sebagai peredam tekanan.

1.6 Batasan Masalah

Untuk mengefektifkan proses penelitian, maka diterapkan beberapa batasan-batasan masalah, yaitu sebagai berikut:

1. Model yang akan dianalisa hanya pemodelan tangki saja yaitu dengan tangki *rectangular tank* dengan dan tanpa pelat memanjang (*baffle*)

2. Penelitian ini mengambil data kapal FPSO dan tangki dari penelitian sebelumnya dari paper Lee S J dkk (2005) yang berjudul “ *The effects of LNG-tank sloshing on the global motions of LNG Carriers*”
3. Pengujian (eksperimen) model tangki digunakan sebagai validasi atas hasil numerik dengan *software Computational Fluid Dynamic* (CFD) Ansys Fluent
4. Analisa dilakukan dengan permodelan dan proses simulasi *sloshing* dengan *software Computational Fluid Dynamic* (CFD) Ansys Fluent .
5. Gerakan *sloshing* yang dianalisis merupakan akibat dari gerakan *rolling* kapal.
6. Variasi yang dilakukan adalah ketinggian cairan pada kondisi *filling level* sebesar 15%, 30%, dan 90% dari ketinggian tangki.

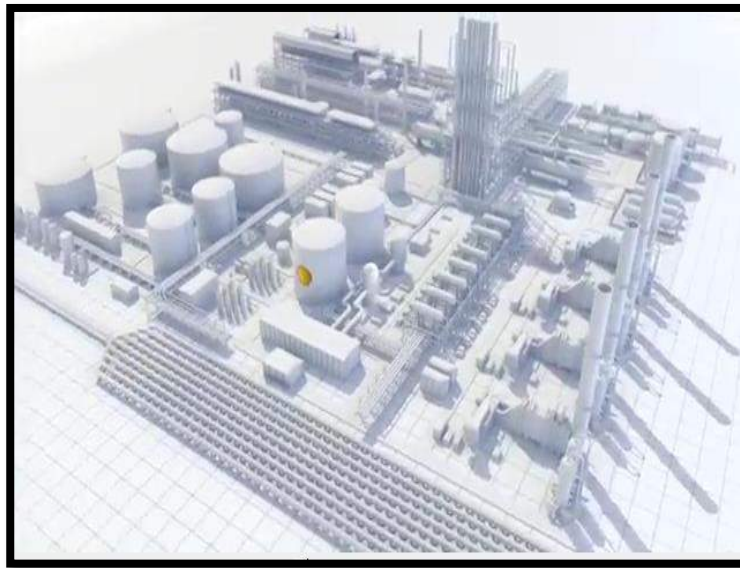
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Karakteristik LNG

Liquified Natural Gas, atau yang biasa dikenal dengan LNG merupakan salah satu jenis hasil pengolahan gas alam yang mengubah dari fase gas menjadi fase cair (*liquid*) pada -163°C sehingga dapat mengurangi *specific volume* sebesar faktor 600. Metode-metode yang berkaitan dalam proses pengolahan gas alam menjadi bentuk LNG akan dijelaskan lebih detail pada sub-bab selanjutnya. LNG merupakan gas cair yang terdiri dari beberapa senyawa kimia kompleks, yaitu 87-90% metana, 8-9% etana dan 0.5-1% nitrogen. Sedangkan komponen lainnya seperti propana, butana, dan isobutana memiliki kandungan kurang dari 0.5% dari total senyawa pembentuk LNG. Komposisi senyawa tersebut dapat mempengaruhi efek *sloshing* yang ditimbulkan pada tangki muatan saat proses transportasi LNG sedang berlangsung.



Gambar 2.1 Ilustrasi LNG Plant Production oleh Cell Corp

2.1.1 Viskositas

Viskositas atau kekentalan LNG menjadi suatu hal yang penting pada kasus *sloshing* untuk keadaan amplitudo eksitasi kecil dan pengisian cairan pada tangki yang tinggi. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Bass *et al* :

“viscous effects are secondary in the scaling of large amplitude nonlinear sloshing impact pressures”

Pernyataan tersebut dapat diartikan bahwa efek viskositas dari suatu fluida merupakan parameter yang tidak terlalu esensial pada analisis tekanan tekanan untuk kasus nonlinier *sloshing* dengan simpangan amplitudo besar. Mengacu pada teori tersebut, maka pengaruh viskositas LNG terhadap analisis tekanan pada penelitian ini dapat ditiadakan.

2.1.2 Filling Level

Karakteristik LNG yang memiliki tingkat kompleksitas yang tinggi seperti tingkat pendinginan dibawah suhu lingkungan, tingkat *flammability*, serta metode penyimpanan LNG mewajibkan pengguna, operator maupun pihak-pihak yang terlibat dalam proses transportasi LNG untuk memberlakukan peraturan khusus. Salah satu contohnya jika proses transportasi LNG menggunakan kapal diharuskan memenuhi persyaratan khusus yang mengatur konstruksi dan peralatan untuk kapal yang memuat gas dalam bentuk cair (*liquid*), persyaratan khusus tersebut terdapat didalam IGC code – *International Codes for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gas in Bulk*. Salah satu hal yang diatur dalam peraturan tersebut adalah batas pengisian muatan LNG atau yang sering disebut sebagai *filling level*, dimana secara umum IGC-Codes mengatur bahwa *filling level* tidak melebihi batas maksimum 98% dari ketinggian tangki, terdapat nilai pengurangan yang lebih besar untuk tangki dengan geometri yang berbentuk bola (*spherical*). Sedangkan untuk keperluan proses insulasi sebagai sistem pendinginan tangki ketika proses *unloading* selesai, *filling level* minimum dari media yang digunakan berkisar antara 10-15% dari ketinggian tangki LNG.

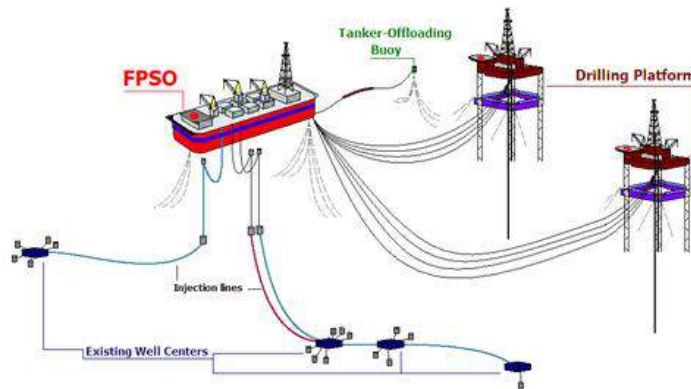
Filling level memiliki pengaruh pada tekanan statis dan frekuensi natural dalam kaitannya terhadap permasalahan *sloshing*. Hal tersebut juga akan mengakibatkan implikasi pada pemodelan *sloshing* menggunakan CFD, dimana model CFD harus dapat menunjukkan tingkat ketepatan besaran fluida primer pada sistem (Soren, 2014).

2.2 Floating, Production, Storage and Offloading (FPSO)

FPSO merupakan fasilitas produksi migas terapung terintegrasi yang memberikan solusi menyeluruh dalam menghasilkan migas. Karena hampir semua proses produksi migas dari mulai reservoir sampai transfer ke kapal kargo terjadi disini. Karena itu pula desain FPSO bisa menjadi sangat kompleks dibandingkan dengan desain fixed platform. FPSO pertamakali di dunia adalah Shell Castellon yang beroperasi mulai tahun 1977 di laut mediterania pada kedalaman 117 meter. Saat ini ada lebih dari 270 FPSO sedang dan telah beroperasi di dunia (Wikipedia).

Di Indonesia sendiri jumlah FPSO yang sedang beroperasi hanya sebanyak 7 buah. Dibawah Brazil (32buah), UK (14 buah) dan Angola(13 buah). Hal ini merupakan ironi karena selain pulau-pulau yang menyebar, luas lautan Indonesia yang lebih dominan dibandingkan dengan negara2 pemilik FPSO terbanyak lainnya. Selain itu, berdasarkan data dari sumber yang sama, FPSO Indonesia hanya bermain pada kedalaman sekitar 100 meter. Masih jauh dibawah kedalaman optimal rata-rata FPSO sebesar 1000 meter ke atas. Jumlah FPSO memang bukan indikator utama kemajuan industri migas Indonesia. Akan tetapi, jika dilihat dari perbandingan jumlah FPSO dibandingkan fasilitas fixed platform dan luasan lautan Indonesia, sepertinya FPSO memiliki potensi penggunaan yang lebih banyak pada masa depan migas Indonesia.

Pada FPSO komponen penerima dan pengolahan fluida migas yang kemudian disimpan di dalam kapal untuk kemudian disalurkan ke kapal transporter. Pada prinsipnya FPSO tidak mengolah fluid sumber menjadi bahan bakar konsumsi seperti bensin atau solar. FPSO mengolah fluida sumber menjadi minyak mentah yang layak simpan dan layak ditransportasikan. Oleh karena itu dibutuhkan beberapa fasilitas pengolahan fluida sumber menjadi minyak mentah tersebut. Komponen utama dalam pengolahan fluida sumber minyak pada FPSO biasanya terdiri dari Receiving/Manifolds, Separation, Oil Treating, Gas Treating/Compression, Water Treating, Oil Transfer dan Vent/Flare tower .

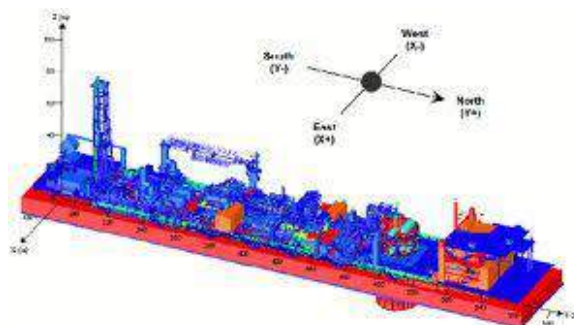


Gambar 2.2 FPSO Production System (Wikipedia)

Cara kerja FPSO :

Minyak yang dihasilkan dari platform produksi lepas pantai dapat diangkut ke daratan baik melalui pipa atau dengan kapal tanker. Ketika sebuah kapal tanker dipilih untuk mengangkut minyak, perlu untuk mengumpulkan minyak dalam beberapa tangki penyimpanan sedemikian rupa sehingga kapal tanker minyak tidak terus menerus diduduki selama produksi minyak, dan hanya dibutuhkan satu kali minyak yang memadai telah diproduksi untuk mengisi tanker. Seringkali solusinya adalah kapal tanker minyak dinonaktifkan yang telah dipreteli dan dilengkapi dengan fasilitas untuk dihubungkan ke mooring buoy. Minyak terakumulasi dalam FPSO sampai ada jumlah yang cukup untuk mengisi tanker, di mana salah satu titik kapal tanker terhubung ke buritan unit FPSO.

Ada dua jenis utama FPSO, kapal tanker minyak yang dimodifikasi atau bangunan baru yang dibangun untuk tujuan tersebut. FPSO juga mungkin jenis platform semi-submersible dengan penyimpanan atau cylindrically berbentuk. Jenis ini adalah ditambatkan dalam orientasi tetap.



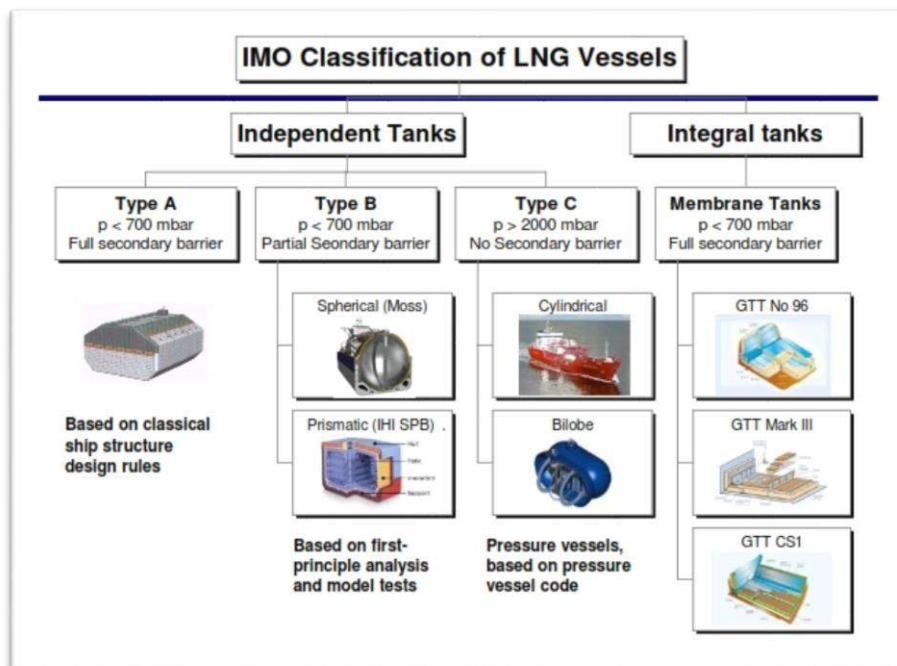
Gambar 2.3 Kapal FPSO (Wikipedia)

2.3 Klasifikasi Tangki LNG

Pada perkembangannya terdapat kapal FLNG. FLNG adalah LNG FPSO (Floating, Production, Storage, dan Offloading System), dimana kapal dibangun sebagai suatu fasilitas mandiri yang dapat menerima gas dari subsurface, melakukan processing (pengolahan, pemisahan, dan pencairan), penyimpanan, dan off-loading di suatu lapangan gas di laut. Pengklasifikasian *gas carriers* oleh IMO dibagi kedalam beberapa tipe seperti kategori *gas carriers* berdasarkan ukuran (kapasitas) tangki ruang muat, berdasarkan perlakuan pada proses pengubahan menjadi fase *liquid* terhadap muatan, berdasarkan tingkat bahaya dari muatan yang dibawa. Pada klasifikasi *gas carriers* dengan muatan berjenis LNG atau yang kemudian disebut LNG *carriers*, metode klasifikasi berdasarkan bentuk geometri tangki juga mencakup kategori kapal LNG berdasarkan kapasitas tangki ruang muat dari kapal LNG, sebagai contohnya adalah jika suatu kapal LNG menggunakan tangki ruang muat tipe *bilobe* secara umum maka kapal tersebut juga termasuk dalam kategori *small LNG carriers*, dikarenakan pada umumnya kapasitas tangki jenis *bilobe* adalah berukuran kurang dari 10,000 m³. Dalam IGC *Codes-International Codes for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquified Gas in Bulk*, IMO mengkategorikan kapal LNG berdasarkan jenis tangki ruang muatnya kedalam empat kategori utama, yaitu :

- *Integrated Tanks*
- *Membrane Tanks*
- *Semi-Membrane Tanks*
- *Independent Tanks; type A, B, and C*

Karakteristik dari *integrated*, *membrane* dan *semi-membrane tanks* adalah memiliki interaksi secara langsung dengan lambung kapal, sehingga dapat menyalurkan tekanan statis dalam bentuk tekanan dalam tangki terhadap lambung kapal disekitar tangki ruang muat ketika diisi dengan muatan. *Independent tanks* hanya menyalurkan berat dari muatan di dalam tangki ruang muat dan struktur tangki, namun tidak menyalurkan tekanan statis. Bagan klasifikasi kapal LNG oleh IMO akan dijelaskan seperti pada gambar 2.4 dibawah ini :



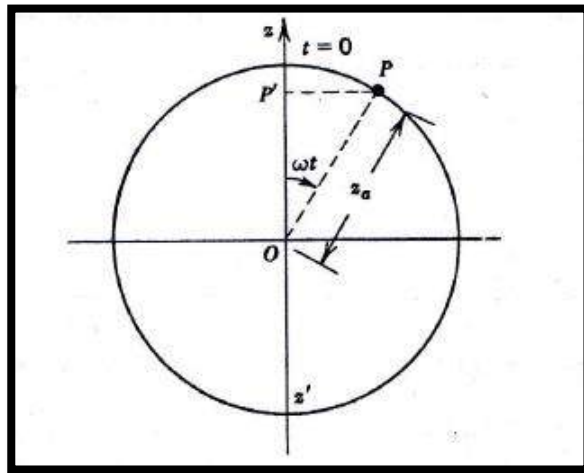
Gambar 2.4 Klasifikasi Tangki LNG menurut IMO (Delpizzo, 2014).

2.4 Teori Gelombang

Teori gelombang diawali dengan konsep yang paling mudah dipahami, yaitu gerak harmonis sederhana atau yang secara umum dikenal dengan *Simple Harmonic Motion*, yang merupakan penyederhanaan dari teori gerak harmonis yang pada umumnya merupakan fenomena yang kompleks. Dalam kasus gerak harmonis sederhana, ketika suatu benda dirubah keadaannya dari posisi keseimbangannya, maka gaya yang menjadi satu kesatuan dengan benda tersebut akan memiliki kecenderungan untuk mengembalikan benda ke posisi keseimbangannya. Gaya yang bekerja tersebut adalah *restoring force* atau gaya pengembali. Jika tidak ada gaya hambat atau *damping* ketika suatu benda berosilasi, benda akan berosilasi tak hingga, dan nilai perpindahan maksimum pada osilasi tersebut akan konstan. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai titik maksimum dari sisi satu ke sisi yang lainnya disebut periode gerakan.

2.4.1 Formulasi Gerak Harmonis Sederhana

Jika suatu titik diasumsikan bergerak mengikuti keliling suatu lingkaran dengan kecepatan yang beragam, gerakan dari proyeksi titik tadi terhadap diameter lingkaran dapat didefinisikan sebagai gerak harmonis sederhana.



Gambar 2.5 Ilustrasi Gerak Harmonis Sederhana

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5 Ilustrasi Gerak Harmonis Sederhana, bahwa titik P bergerak sepanjang keliling lingkaran dengan radius z_a . Jika P bergerak dengan kecepatan sudut yang konstan sebesar ω radian per satuan waktu, P' adalah proyeksi dari titik P pada diameter lingkaran zz' . Ketika P berputar sepanjang keliling lingkaran, P' bergerak dari z menuju z' dan terus menuju z . Gerakan dari P' merupakan gerak harmonis sederhana, adapun rumusannya yaitu :

- Jarak titik P' diukur dari $O = OP'$

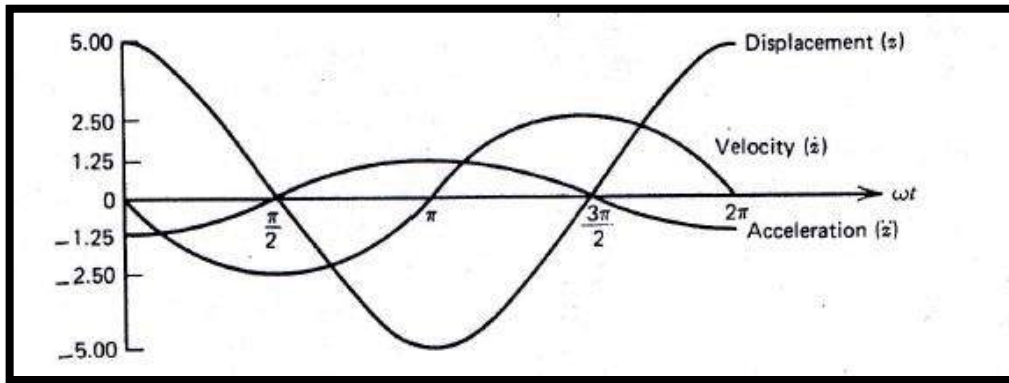
$$z = z_a * \cos \omega t \quad (2.1)$$

- Kecepatan dari P'

$$\frac{dz}{dt} = -z_a * \omega \sin \omega t \quad (2.2)$$

- Percepatan dari P'

$$\frac{d^2z}{dt^2} = -z_a * \omega^2 \cos \omega t \quad (2.3)$$



Gambar 2.6 Karakteristik pada Gerak Harmonis Sederhana

Gambar 2.6 menunjukkan karakteristik jarak, kecepatan dan percepatan pada gerak harmonis sederhana. Amplitudo bernilai P' , jarak maksimum terhadap pusat adalah z_a . Periode gerakan, waktu yang dibutuhkan oleh P' untuk mencapai z' dari z dan kembali lagi menuju z , memiliki kesamaan dengan waktu yang dibutuhkan oleh P untuk berotasi secara penuh adalah :

$$T = \frac{2\pi z_a}{\omega z_a} = \frac{2\pi}{\omega} \quad (2.4)$$

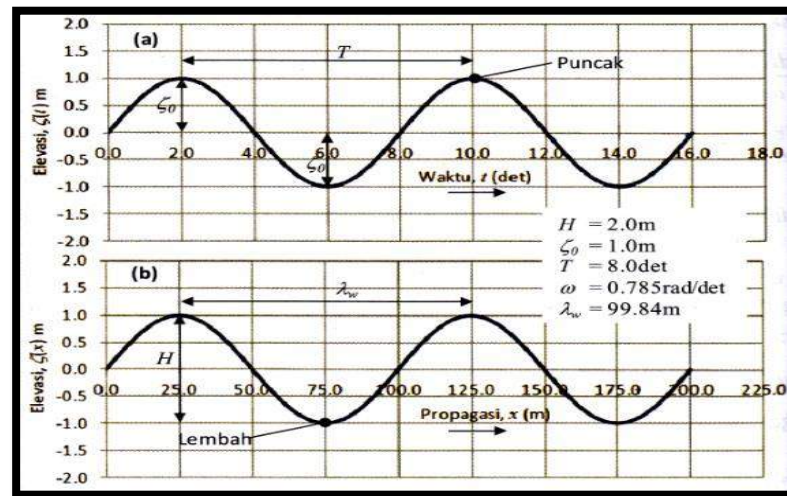
Dimana :

$$\text{Frekuensi} = \frac{1}{T} \quad (2.5)$$

$$\text{Frekuensi sudut} = \omega = \frac{2\pi}{T} \quad (2.6)$$

2.4.2 Gelombang Sinusoidal

Gelombang air ideal merupakan salah satu contoh dari kurva sinusoidal yang sangat jarang ditemui dalam kehidupan sehari-hari, kecuali dalam tangki percobaan yang memiliki *water-maker* yang dapat menghasilkan amplitudo gelombang yang konstan. Adapun karakteristik dari gelombang sinusoidal (Bhattacharyya, 1978) antara lain :



Gambar 2. 7 Representasi Gelombang Sinusoidal

Keterangan :

- Puncak Gelombang (*Crest*) adalah titik dimana permukaan air berada pada elevasi tertinggi.
- Lembah Gelombang (*Trough*) adalah titik dimana permukaan air berada pada elevasi terendah.
- Garis Datum adalah Garis datar permukaan air (diambil secara statistik) pada waktu air tenang.
- Elevasi Gelombang (ζ) adalah Jarak suatu titik pada permukaan gelombang dengan garis datum pada suatu waktu tertentu.
- Amplitudo Gelombang (ζ_w) adalah Garis vertikal antara titik tertinggi atau titik terendah dengan garis datum.
- Panjang Gelombang (λ) adalah Jarak dari puncak (lembah) gelombang dengan puncak (lembah) gelombang berikutnya.
- Kecepatan Gelombang (V) adalah perubahan jarak yang ditempuh suatu titik per satuan waktu.
- Percepatan gelombang (V') adalah perubahan kecepatan gelombang itu sendiri per satuan waktu.
- Frekuensi Gelombang (ω) adalah Banyaknya puncak (lembah) gelombang yang dilalui oleh suatu titik per satuan waktu.

2.5 Respon Gerakan Kapal pada Gelombang

Nilai periode absolut pada gelombang bisa jadi tidak sama dengan gelombang yang mengalami perubahan akibat kapal yang sedang berlayar. Arah hadap kapal yang berlawanan dengan arah datangnya gelombang (*head sea*) akan mengakibatkan datangnya gelombang yang berturut-turut menjadi lebih cepat dan gelombang akan memiliki periode yang lebih pendek. Sebaliknya, jika kapal bergerak pada kondisi *following sea* (kapal searah dengan datangnya gelombang) akan semakin menjauh dari gelombang, dan memiliki periode yang lebih panjang. Jika gelombang datang dari salah satu sisi kapal, maka tidak akan ada perbedaan antara periode gelombang dengan periode yang dialami oleh kapal.

2.5.1 Olah Gerak Kapal dalam 6-Derajat Kebebasan

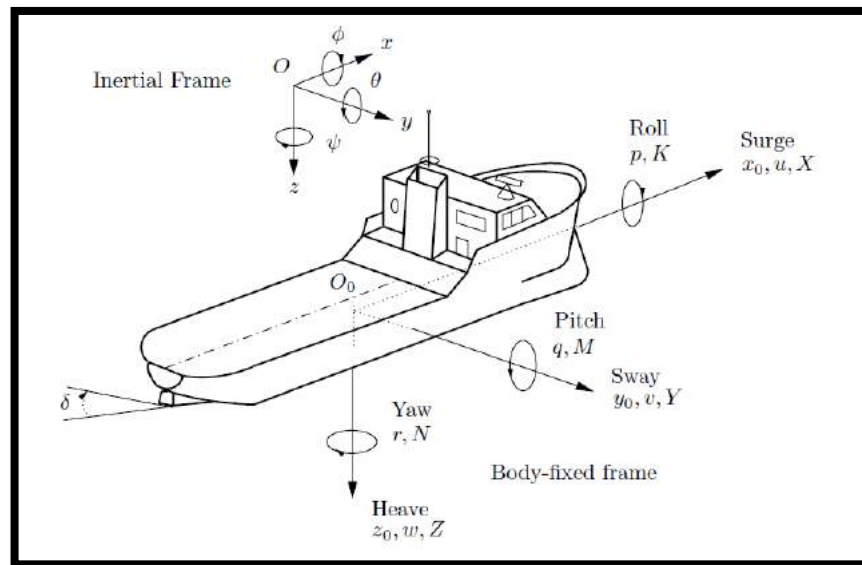
Olah gerak kapal pada gelombang yang kompleks hanya dapat dianalisa dan dipelajari dengan membagi menjadi beberapa komponen gerakan. Metode pembagian komponen yang pertama adalah komponen gerakan translasi, yaitu *surging* terhadap sumbu-X, *swaying* terhadap sumbu lateral-Y, *heaving* terhadap sumbu vertikal-Z. Secara berurutan terhadap sumbu yang sama adalah gerakan rotasi, yaitu *rolling*, *pitching*, *yawing*.

Tabel 2.1 Enam Mode Derajat Kebebasan Gerakan Kapal

Nama Gerakan	Model	Sumbu Positif	Simbol
<i>Surge</i>	Translasi	Ke-Depan	X
<i>Sway</i>		Ke- <i>Starboard</i>	Y
<i>Heave</i>		Ke-Atas	Z
<i>Roll</i>	Rotasi	<i>Starboard Down</i>	ϕ
<i>Pitch</i>		<i>Bow up</i>	θ
<i>Yaw</i>		<i>Bow to Port</i>	χ

Meskipun telah membagi olah gerak kapal yang rumit kedalam 6 komponen tersebut diatas, pada prinsipnya untuk dapat menjelaskan secara lengkap mengenai permasalahan olah gerak kapal yang rumit, pada analisis teoritis terhadap olah gerak kapal tetap masih membutuhkan penyederhanaan terhadap permasalahannya. Pertama-tama, dengan mengasumsikan bahwa perilaku olah gerak kapal berada dalam

kondisi gelombang harmonis sederhana (*regular waves*). Selanjutnya, menganalisis perilaku kapal dalam gelombang acak yang sesuai dengan kondisi pelayaran (*irregular waves*), yang merupakan suatu representasi dari komponen gelombang regular dengan jumlah yang sangat besar, sehingga dapat diambil hasil akhir sebagai respons kapal dalam gelombang acak (Perez & Blanke, 2002).



Gambar 2.8 Notasi Umum dan Konvensi Simbol Deskripsi Olah Gerak Kapal

Dari keenam mode olah gerak kapal, hanya tiga gerakan (*heaving, rolling, pitching*) yang merupakan gerakan osilasi alami, ketiga jenis olah gerak kapal tersebut bekerja karena pengaruh gaya atau momen akibat gelombang yang mempengaruhi kapal dari posisi keseimbangan awalnya. Pada mode olah gerak *surging, swaying, dan yawing*, kapal tidak akan kembali ke posisi kesetimbangan awalnya meskipun gaya yang mempengaruhi atau momen yang mengakibatkan olah gerak kapal bekerja dari arah yang berlawanan dengan arah hadap kapal. Meskipun pada kenyataannya olah gerak kapal dalam 6 mode gerakan kapal bekerja sebagai satu kesatuan, hanya satu gerakan pada satu waktu yang akan dianalisa pada penelitian ini.

Segera sesudah spektra gelombang *encounter* telah diketahui, maka hal tersebut dipakai sebagai acuan dengan pengaruhnya terhadap olah gerak kapal. Untuk dapat melakukan hal tersebut, ada dua pendekatan yang telah dipakai secara umum dalam pemecahan permasalahan dinamika kapal. Kedua metode tersebut mengacu pada asumsi untuk menyederhanakan permasalahan, yaitu bahwa respon olah gerak

kapal adalah linier dengan amplitudo gelombang pada kasus gelombang reguler. Metode pertama merupakan pendekatan terhadap gaya dan momen yang dihasilkan oleh tiap-tiap komponen reguler menggunakan rumusan untuk *rectangular parallelepiped* dan memasukkan rumusan tersebut kedalam persamaan olah gerak seperti yang telah diajukan oleh Källström (1979). Metode kedua yang dipakai adalah metode yang biasa disebut dengan *Response Amplitude Operator* (RAO) dan menggunakan hubungan antara elevasi gelombang terhadap olah gerak kapal yang akan ditinjau. Metode ini mengintegrasikan antara gaya dan momen pada luasan yang dikenai gelombang sebagai dasar perhitungan beban, bentuk dari lambung dan kondisi pelayaran.

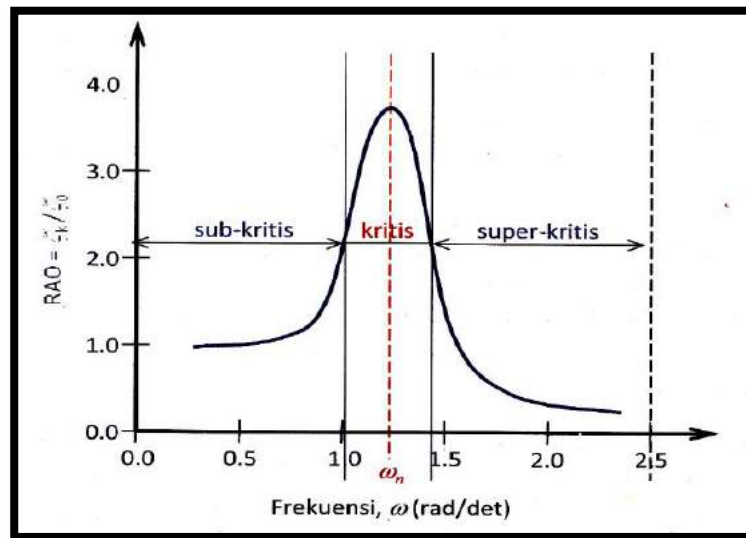
2.5.2 *Rolling*

Menurut (Romadhoni, 2016) *rolling* merupakan gerakan kapal yang terjadi pada saat kapal mengelilingi sumbu x. *Rolling* terjadi ketika bagian sisi kanan kapal bergerak kesebelah sisi kiri kapal dan terulang secara bergantian.

Gambar 2.8 menunjukkan enam derajat kebebasan gerakan kapal. *Rolling* dari kapal terjadi ketika kapal berotasi terhadap sumbu x. Gerakan yang terjadi dari kapal tersebut diakibatkan oleh gelombang yang terjadi di permukaan air.

2.5.3 *Response Amplitudo Operator (RAO)*

Setelah menjelaskan dengan seksama tentang teori gerakan bangunan laut, pada akhirnya hasil yang diperlukan oleh perancang, serta pada tahap tertentu oleh operator, adalah informasi tentang karakteristik gerakan itu sendiri. Informasi tersebut pada umumnya disajikan dalam bentuk grafik, dimana absisnya adalah berupa parameter frekuensi, sedangkan ordinatnya adalah merupakan rasio antara amplitudo gerakan pada mode tertentu (ζ_{k0}) dengan amplitudo gelombang (ζ_0), yang kemudian secara luas dikenal sebagai *Response Amplitude Operator*. Frekuensi yang dipakai sebagai absis dapat berupa frekuensi gelombang insiden (ω), frekuensi gelombang papasan (ω_e), atau frekuensi non-dimensional, disesuaikan dengan keperluan analisisnya. Berikut adalah bentuk umum dari respons gerakan kapal di gelombang (Djarmiko, 2012).



Gambar 2.9 Bentuk Umum Grafik Repons Gerakan Kapal

Mengacu pada Gambar 2.9, kurva respons gerakan bangunan apung baik stasioner maupun melaju (kapal) pada dasarnya dapat dibagi menjadi tiga bagian, yaitu (Djarmiko, 2012) :

- a. Pertama adalah bagian frekuensi rendah, atau gelombang (dengan periode) panjang, yang disebut daerah sub-kritis. Pada daerah ini bangunan laut akan bergerak mengikuti pola atau kontur elevasi gelombang yang panjang, sehingga amplitudo gerakan kurang lebih akan ekuivalen dengan amplitudo gelombang, atau disebut *contouring*. Dalam korelasi persamaan hidrodinamis, di daerah frekuensi rendah, atau $\omega^2 < k/(m+a)$, gerakan akan didominasi oleh faktor kekakuan.
- b. Kedua adalah daerah kritis, meliputi pertengahan lengan kurva di sisi frekuensi rendah sampai dengan puncak kurva dan diteruskan ke pertengahan lengan kurva sisi frekuensi tinggi. Puncak kurva berada pada frekuensi alami, yang merupakan daerah resonansi, sehingga respons gerakan kapal akan mengalami magnifikasi, atau amplitudo gerakan akan menjadi lebih besar daripada amplitudo gelombang.
- c. Ketiga adalah daerah super-kritis, yaitu pada daerah frekuensi tinggi, atau gelombang-gelombang (dengan periode) pendek. Pada daerah ini respons gerakan akan mengecil. Semakin tinggi frekuensi, atau semakin rapat antara puncak-puncak gelombang yang berurutan, maka akan memberikan efek

seperti bangunan laut bergerak diatas permukaan air yang relatif datar.

Sehingga gerakan pada daerah ini gerakan akan didominasi faktor massa.

Untuk mode gerakan tanpa kekauan (*Surge, Sway, Yaw*) akan memiliki harga besar pada frekuensi rendah, mengarah ke nilai 1.0 pada harga frekuensi nol. Namun demikian perlu digaris bawahi, bahwa frekuensi nol artinya periode gelombang adalah tidak berhingga atau sebenarnya adalah sama dengan air tenang.

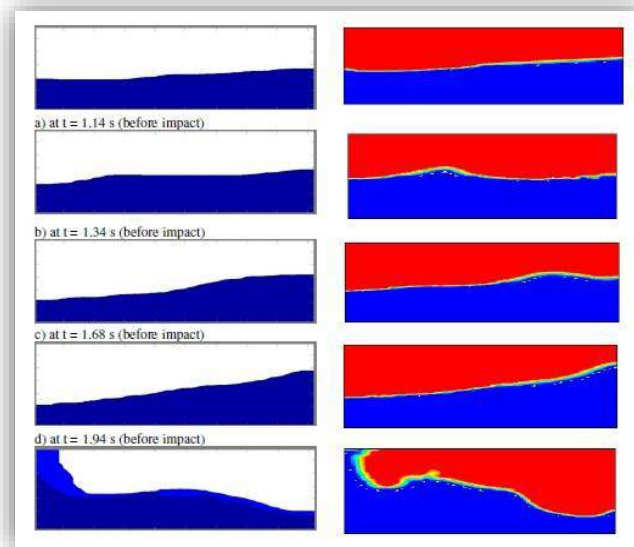
Lewis (1988) menjabarkan bahwa *Response Amplitude Operator* (RAO) adalah merupakan nilai yang menggambarkan hubungan antara olah gerak kapal dan tinggi gelombang dengan frekuensi gelombang regular.

Nilai RAO sangat dipengaruhi oleh geometri dari lambung kapal dan kondisi beban pada kapal yaitu berdasarkan kecepatan dan arah terhadap arah datangnya gelombang. Enam (6)-mode gerakan olah gerak kapal terdiri dari tiga gerakan translasi, yaitu *surge, sway, heave* dan tiga gerakan rotasi, yaitu *roll, pitch, dan yaw*. Penjelasan tentang posisi dan orientasi dari kapal secara umum digambarkan pada *inertial frame* dan koordinat seperti dinotasikan sebagai berikut : $[x\ y\ z]t$ dan $[\varphi\ \theta\ \psi]t$. RAO ditentukan menggunakan sistem komputasi yang didasarkan pada metode *Strip Theory* dan *3-D Diffraction Theory*.

2.6 *Sloshing*

Suatu cairan yang dengan permukaan bebas yang tak terbatas akan mengalami perpindahan yang sangat besar ketika terjadi gaya eksitasi akibat gaya luar. Fenomena tersebut secara umum dikenal sebagai *sloshing*. Berkaitan dengan gerakan cairan yang mengakibatkan pembebanan pada struktur tangki ruang muat. Kapal yang membawa muatan dalam bentuk cairan dengan metode pengisian sebagian (*partially filled*) merupakan kasus yang memiliki efek *sloshing* yang besar. Tingkat keselamatan kapal pada saat ini telah dianjurkan untuk memasukkan kriteria beban akibat *sloshing*, begitu pula efeknya terhadap stabilitas kapal.

Sebelum memodelkan suatu bentuk aliran *sloshing*, karakteristik cairan perlu diidentifikasi lebih lanjut untuk menentukan parameter kunci yang akan dimasukkan ke dalam rumusan model matematika. Efek alamiah *sloshing* dipengaruhi oleh geometri dari tangki, sifat-sifat cairan dan eksitasi tangki.



Gambar 2.10 Fenomena Sloshing pada Tangki Memanjang (Khezzar & Seibi, 2009).

2.6.1 *Sloshing Load Assessment*

Pada saat ini ada tiga macam pendekatan dalam proses pemecahan masalah beban sloshing. Metode yang paling lama muncul adalah teori aliran potensial yang mengasumsikan eksitasi gerakan yang kecil. Keunggulan dari metode ini adalah tingkat pemodelan permasalahannya yang cukup sederhana, sehingga dapat dirumuskan untuk tekanan, serta gaya dan momen putar tangki, karakteristik tangki, percepatan dan frekuensi *sloshing*.

Namun, pendekatan tersebut memiliki beberapa kekurangan. Pertama, pemilihan permasalahan sebagai aliran potensial tidak dapat memberikan hasil yang akurat terhadap gerakan cairan. Asumsi eksitasi yang kecil juga membatasi validitas dari pendekatan ini. Pada akhirnya, bentuk geometri tangki yang kompleks seperti bentuk tangki pada kapal LNG dengan jenis membran yang tidak dapat dideskripsikan dengan sistem koordinat sederhana. Keterbatasan inilah yang kemudian memunculkan pendekatan dengan metode panel (*Boundary Elements*) untuk mendeskripsikan bentuk tangki yang lebih rumit.

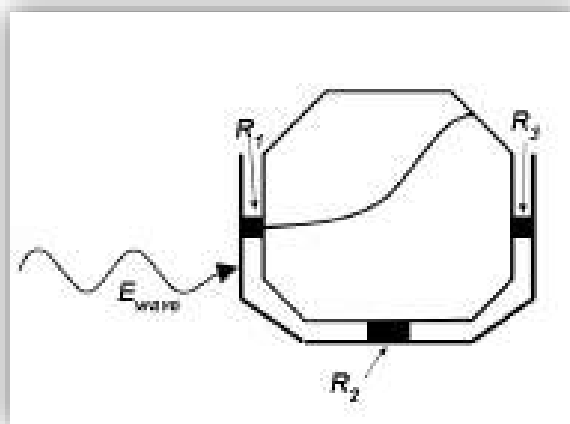
Pada saat ini telah muncul beberapa teori yang dikembangkan dari teori linear, yang memiliki banyak keterbatasan dalam pemodelan permasalahan *sloshing*, hal tersebut ditunjang dengan berkembangnya kemampuan kinerja komputer yang

semakin canggih sehingga munculah teori non-linier, yang memodelkan beban *sloshing* dengan lebih akurat dengan eksitasi gerakan yang lebih luas. Eksperimen menggunakan model yang diskala telah menjadi prosedur standar dalam penerapan di dalam ilmu kelautan. Hal tersebut digunakan oleh beberapa biro klasifikasi besar seperti Det Norske Veritas, Lloyd's Register dan American Bureau of Shipping. Ketika percobaan memberikan data yang riil pada skala percobaan, menjadikan proses penskalaan menjadi hal yang penting dan tidak boleh diabaikan.

Perkembangan teknologi komputer telah memunculkan metode pendekatan terhadap pemodelan beban *sloshing* yang secara umum dikenal dengan *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Beberapa produk komersial yang umum digunakan antara lain adalah Star-CD, Ansys FLUENT, Flow-3D dan FLUENT. Pada pendekatan dengan metode CFD, dimungkinkan untuk menganalisa parameter seperti efek viskositas cairan, kenaikan tekanan cairan dalam geometri bentuk tangki yang bermacam-macam.

2.6.2 Dinamika Sloshing

Meskipun permasalahan fenomena *sloshing* sangat menantang, investigasi mendetail membutuhkan pemahaman tentang interaksi antara gerakan cairan *sloshing* dan geometri tangkinya. Dalam perjalanan perkembangan desain tangki ruang muat kapal ditunjukkan adanya hubungan antara efek *sloshing* yang signifikan yang diakibatkan oleh adanya efek gerakan tangki dengan *sloshing* pada cairan.



Gambar 2.11 Ilustrasi Skema Sloshing

Gambar 2.11 menunjukkan skema dari fenomena *sloshing*. Kapal dikenai gaya luar akibat eksitasi gelombang (E_{wave}), yang mengakibatkan tangki bergerak dan menimbulkan efek *sloshing* pada cairan didalamnya. Efek *sloshing* dan eksitasi gelombang bekerja pada dinding tangki. Ketika suatu kapal LNG berlayar pada perairan dengan kategori perairan dengan gelombang reguler, prosedur perhitungan beban *sloshing* harus dimasukkan pada gaya eksitasi irreguler. Efek *sloshing* pada cairan mula-mula akan menghasilkan beban transien, tapi data beban *steady state* mengabaikan beban ini.

Sehingga pada akhirnya, interaksi antara cairan dengan struktur tangki biasanya diselesaikan secara terpisah, atau ditiadakan semuanya. Interaksi antara cairan dan struktur tangki pada tingkatan tersebut hanya bisa diselesaikan dengan gabungan antara metode CFD dan *Finite Elements* sebagai suatu input untuk mendapatkan solusi terhadap permasalahan tersebut, namun hal ini tentunya membutuhkan performa komputer yang lebih canggih

2.6.3 Eksitasi Sloshing

Hasil dari eksitasi signifikan dari efek *sloshing* yang terbaik dapat dihitung dengan metode aliran potensial, dengan tekanan dan gaya yang dirumuskan pada karakteristik gerakan model. Tangki kotak dapat digunakan sebagai representasi dari contoh tangki LNG sesungguhnya, aliran potensial diasumsikan sebagai model cairan. Analisis kemudian digunakan untuk memperoleh amplitudo eksitasi dan frekuensi pada beban *sloshing*.

Pada kondisi pelayaran dari kapal, eksitasi selalu digambarkan sebagai fenomena alam yang irreguler. Maka, analisis Fourier digunakan untuk mendekomposisikan suatu persamaan kecepatan eksitasi irreguler $\dot{\zeta}(t)$ menjadi komponen komponen regular seperti yang ditunjukkan pada pers. (2.7) dibawah ini :

$$\dot{\zeta}(t) = \sum_{i=1}^n \zeta_{0n} \omega_n \cos(\omega_n t + \varepsilon_n) \quad (2.7)$$

Dimana,

$$\zeta_{0n} = \sqrt{2(S_{\dot{\zeta}}(\omega))} \quad (2.8)$$

= Amplitudo eksitasi

$$\varepsilon_n = \sqrt{1 - \frac{m_2^2}{m_0 m_4}}$$

(2.9)

= Sudut Fase eksitasi

2.6.4 Permodelan Sloshing

Ada dua metode numerik yang sering dipakai dalam sifat (kompleksitas) dari perilaku permukaan bebas (*free surface behaviour*):

- A *Interface capturing technique*; sebagai contoh adalah *volume of fluid* yang dikembangkan oleh Hirt dan Nicholas (1981) dan Level Set Method yang disusun oleh Sussman (1994).
- B *Smoothed Particle Hydrodynamics* yang dikembangkan oleh Gingold dan Monaghan (1977) dan diperluas cakupannya dengan melibatkan *free surface incompressible flows* oleh Monaghan (1994).

2.6.4.1 Volume Of Fluid

Pemodelan yang didasarkan pada teori *Volume of Fluid* atau yang kemudian disingkat menjadi VOF dapat memodelkan dua atau lebih fluida yang tidak dapat dicampur dengan penyelesaian persamaan momentum tunggal dan menelusuri volume fluida yang pecah pada tiap domain. Pada Metode ini, lokasi aktual dari pertemuan fase ditentukan dengan beberapa penambahan definisi komputasi yang didasarkan pada sebaran dari penandaan yang ada pada elemen. Prosedur ini dinilai tidak cukup konsisten dalam aplikasinya jika hanya menggunakan satu nilai untuk tiap elemen dari meshing pada penentuan variabel yang mendefinisikan tingkatan fluida. Hal tersebut kemudian memacu Hirt dan Nichols (Nichols & Hirt, 1982) untuk menciptakan suatu metode yang disebut *Fractional Volume of Fluid* (VOF). Beberapa aplikasi penggunaan teori ini adalah *jet breakup*, gerakan gelembung pada cairan, gerakan cairan dengan adanya dinding penghalang dan penelusuran stabil maupun tidak terhadap permukaan cairan-gas.

Adapun batasan-batasan teori VOF pada CFD, yaitu antara lain :

- Harus menggunakan *solver* dengan tipe *pressure-based*. Pemodelan VOF tidak tersedia pada *solver* dengan tipe *density-based*.
- Volume pada model harus diisi dengan baik satu fase maupun kombinasi fase dari suatu fluida. Pemodelan VOF tidak mengijinkan daerah yang kosong atau ada salah tipe fluida tidak diikutsertakan.
- Hanya salah satu fase yang dapat dipilih sebagai *compressible ideal gas*.
- Formulasi langkah waktu tipe *second-order implicit* tidak dapat digunakan pada teori VOF untuk skema eksplisit.

Formulasi dari teori VOF pada CFD secara umum menggunakan solusi komputasi dengan waktu sebagai parameternya, pada formulasi ini juga menerapkan pada aplikasinya bahwa dua atau lebih fluida pada model tidak saling bercampur. Pada tiap penambahan fase pada suatu model VOF, ada beberapa variabel yang ada, yaitu : kolom komputasi volume yang pecah pada tiap fase. Pada tiap volume, volume yang pecah dari semua fase dijumlahkan kedalam satu total kesatuan. Daerah untuk semua variabel dan karakteristik yang ada dipisahkan sebagai fase dan volume yang ada yaitu nilai rata-ratanya. Sehingga variabel dan karakteristik yang diberikan pada tiap kolom merupakan gambaran dari salah satu fase maupun campuran dari fase, tergantung nilai dari volume yang pecah. Dapat disimpulkan bahwa, jika q^{th} dari kolom volume fluida yang terpecah yaitu dinotasikan sebagai α_q , sehingga dapat diklasifikasikan tiga kondisi yang berpeluang terjadi, yaitu :

- ✓ $\alpha_q = 0$: kolom bersifat kosong (pada nilai q^{th} fluida)
- ✓ $\alpha_q = 1$: kolom terisi (pada nilai q^{th} fluida)
- ✓ $0 < \alpha_q < 1$: kolom bernilai pertemuan antara nilai q^{th} fluida satu dengan fluida lain.

2.6.4.2 Persamaan Navier-Stokes

Dasar dasar Navier-Stokes digunakan dalam pergerakan fluida pada fenomena *Sloshing* dalam penerapan *Volume of Fluid* (VOF). Persamaan Navier-Stokes adalah sistem persamaan differensial non-linier yang mendeskripsikan bagaimana fluida mengalir. Metode yang digunakan untuk mensimulasikan aliran

fluida selama ini adalah metode Euler yaitu *Finite Element* (FE) dan *Finite Difference* (FD) yang menggunakan anggapan bahwa, fluida merupakan sistem yang kontinyu dan mengikuti hukum-hukum gerak Newton. Cara ini sangat tidak efektif untuk dilakukan mengingat persamaan Navier-Stokes merupakan persamaan yang sangat kompleks.

Dasar persamaan Navier-Stokes didapatkan dengan mensubstitusi hukum ketiga Newton kedalam elemen fluida dV . Bentuk umum persamaan Navier-Stokes dituliskan pada persamaan berikut ini (Gilson, 2005) :

$$\rho \left(\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla \vec{u} \right) = -\nabla P + F + \mu \left(\nabla^2 \vec{u} + \frac{1}{3} \nabla (\nabla \cdot \vec{u}) \right) \quad (2.10)$$

F adalah gaya luar dan μ adalah viskositas fluida. Untuk fluida yang tidak termampatkan, maka persamaan $\nabla \cdot \vec{u} = 0$ harus disubstitusikan pada sistem. Jika persamaan tersebut dikombinasikan dengan pers. (2.30) maka persamaan Navier-Stokes untuk fluida tidak termampatkan (misalnya air) dapat dituliskan pada persamaan berikut :

$$\rho \left(\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla \vec{u} \right) = -\nabla P + F + \mu \nabla^2 \vec{u} \quad (2.11)$$

dimana,

$$\nabla \cdot \vec{u} = 0 \quad (2.12)$$

Simulasi aliran fluida dapat dilakukan dengan mencari solusi persamaan Navier-Stokes. Selama ini belum terdapat solusi analitik persamaan Navier-Stokes tersebut, karena itu untuk mencari solusi persamaan Navier-Stokes dapat dilakukan dengan metode numerik. Syarat awal dan syarat batas juga diperlukan dalam simulasi aliran fluida. Secara umum, syarat awal yang digunakan adalah $(\rho(t = 0, x, y, z), \vec{u}(t = 0, x, y, z))$ dan syarat batas untuk simulasi aliran fluida pada permukaan.

2.6.4.3 Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH)

Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) adalah metode komputasi yang digunakan untuk simulasi fluida mengalir. SPH telah digunakan di berbagai bidang penelitian, termasuk astrofisika, balistik, vulkanologi, dan oseanografi. Ini adalah

mesh bebas metode Lagrangian (dimana koordinat bergerak dengan fluida), dan resolusi dari metode ini dengan mudah dapat disesuaikan sehubungan dengan variabel-variabel seperti kerapatan (*density*).

SPH bekerja dengan membagi cairan ke dalam satu set elemen diskrit, disebut sebagai partikel. Partikel-partikel ini memiliki jarak spasial (dikenal sebagai "panjang *smoothing*", biasanya direpresentasikan dalam persamaan dengan variabel h), dimana sifat mereka "*smoothed*" oleh fungsi kernel. Ini berarti bahwa kuantitas fisik dari partikel apapun dapat diperoleh dengan menjumlahkan sifat yang relevan dari semua partikel yang berada dalam kisaran dari kernel. Sebagai contoh, dengan menggunakan kernel spline kubik Monaghan pada posisi \mathbf{r} tergantung pada suhu dari semua partikel dalam jarak radial $2h$ dari \mathbf{r} .

Kontribusi dari setiap partikel untuk sebuah properti yang menurut jarak dari partikel bunga, dan kepadatan mereka. Secara matematis, ini diatur oleh fungsi kernel (simbol W). Kernel fungsi umumnya digunakan termasuk fungsi Gaussian dan spline kubik. Fungsi terakhir ini bernilai nol untuk partikel lebih jauh dari dua panjang *smoothing* (tidak seperti Gaussian, dimana ada kontribusi kecil pada jarak yang terbatas). Hal ini memiliki keuntungan yaitu meringankan kerja komputasi dengan tidak memasukkan kontribusi relatif kecil dari partikel jauh.

Persamaan untuk setiap kuantitas A pada setiap titik \mathbf{r} diberikan oleh persamaan:

$$A(\mathbf{r}) = \sum_j^{\infty} (m_j \frac{A_j}{\rho_j} W(\mathbf{r} - \mathbf{r}_j), h) \quad (2.13)$$

Dimana m_j adalah massa dari partikel j , A_j adalah nilai kuantitas partikel A untuk j , ρ_j adalah densitas berhubungan dengan partikel j , \mathbf{r} menunjukkan posisi dan W adalah fungsi kernel yang disebutkan di atas. Sebagai contoh, kepadatan partikel i (ρ_i) dapat dinyatakan sebagai :

$$\rho_i = \rho(\mathbf{r}_i) = \sum_j^{\infty} \left(m_j \frac{\rho_j}{\rho_j} W(\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j), h \right) = \sum_j^{\infty} (m_j W(\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j), h) \quad (2.14)$$

Dimana penjumlahan di atas j mencakup semua partikel dalam simulasi.

Demikian pula, turunan spasial kuantitas dapat diperoleh dengan menggunakan integrasi bagian demi bagian untuk menggeser del (∇) operator dari kuantitas fisik ke fungsi kernel,

$$\nabla A(\mathbf{r}) = \sum_j^{\infty} (m_j \Delta W(\mathbf{r} - \mathbf{r}_j), h) \quad (2.15)$$

Meskipun ukuran panjang smoothing bisa diperbaiki di kedua ruang dan waktu. Dengan menetapkan setiap partikel panjang smoothing sendiri dan memungkinkan untuk bervariasi dengan waktu, resolusi simulasi dapat dibuat untuk secara otomatis menyesuaikan diri tergantung pada kondisi setempat. Sebagai contoh, di daerah yang sangat padat dimana banyak partikel berdekatan panjang *smoothing* dapat dibuat relatif singkat, menghasilkan resolusi spasial tinggi. Pada daerah kepadatan rendah dimana partikel individu terpisah jauh dan resolusi rendah, panjang *smoothing* dapat ditingkatkan, mengoptimalkan perhitungan untuk daerah yang diamati.

2.6.5 Permodelan Aliran Turbulen

Model turbulen telah meningkatkan pemikiran terhadap pendekatan awal kondisi batas dan melakukan percobaan untuk mendapatkan pola aliran terbaik. Dewasa ini, pemodelan turbulen merupakan salah satu parameter yang paling banyak diteliti pada permasalahan dinamika fluida maupun matematis. Observasi terhadap data hasil percobaan telah meningkatkan pemahaman terhadap pola aliran turbulen. Pada 1937, von Karman mendefinisikan turbulen sebagai berikut :

“ pola gerakan acak yang secara umum terlihat pada fluida, gas , maupun cairan”.

Perkembangan pemahaman terhadap proses *chaotic* mengharuskan adanya perbaikan pada definisi tersebut, sehingga munculah konsep *time-averaging*. Suatu komponen acak dari sinyal / gelombang turbulen ketika dirata-rata terhadap waktu memiliki nilai \approx nol. Sehingga rata-rata dari waktu berdasarkan sifat fluida $\Omega(t)$ terhadap rata-rata waktu T adalah :

$$\bar{\Omega} = \frac{1}{T} \int_0^T \Omega(t) dt, \quad (2.16)$$

Sehingga,

$$\Omega(t) = \bar{\Omega} + \Omega'(t), \quad (2.17)$$

Dengan tingginya kecepatan dari Ω'

$$\overline{\Omega'(t)} = 0 \quad (2.18)$$

Aplikasi dari tahapan tersebut terhadap rumusan umum Navier Stokes (2.10) sehingga akan menghasilkan Reynolds-Averaged Navier Stokes Equation (RANS).

$$\frac{\partial(\rho \bar{U}_i)}{\partial x_i} = 0, \quad (2.19)$$

$$\frac{\partial(\rho \bar{U}_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \bar{u}_i \bar{u}_j + \rho \bar{u}_i' \bar{u}_j') = -\frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{U}_j}{\partial x_i} \right) \right] \quad (2.20)$$

2.6.5.1 k-epsilon

Pada pemodelan aliran turbulensi, pada umumnya digunakan pendekatan yang memiliki kaitan dengan *turbulence stress* terhadap karakteristik rata-rata alirannya. Menggunakan k , energi kinetik turbulensi dan ε , *eddy dissipation*, semua digunakan untuk menentukan aliran turbulen, dengan skala panjang, skala waktu dan kuantitas dari dimensi seperti viskositas turbulensi, semua dapat didapatkan. Maka, model $k-\varepsilon$ dapat dikatakan memenuhi kelengkapan matematisnya selama tidak ada parameter aliran spesifik yang dibutuhkan.

Model merupakan salah satu pemodelan aliran turbulen yang digunakan di CFD. Hal ini membutuhkan dua tambahan persamaan perpindahan. Dalam pemodelan turbulensi dengan model $k-\varepsilon$ asumsi yang digunakan adalah asumsi Boussinesq, yaitu :

$$\nu_t = C_\mu \frac{k_t^2}{\varepsilon_t} \quad (2.21)$$

Dimana,

ν_t = viskositas turbulen

C_μ = konstanta, 0.09

ε_t = energi kinetik turbulen

Nilai k_t dan ε_t keduanya melakukan pemecahan masalah dalam domain komputasi untuk harga persamaan perpindahan yang analog dengan massa dan momentum. Model $k-\varepsilon$ telah digunakan dalam jangka yang panjang pada dunia industri dengan aplikasi spektra yang sangat besar. Berikut adalah beberapa kekurangan dari model $k-\varepsilon$:

- 1) Ketidak-akuratan pada gradien tekanan yang besar.
- 2) Ketidakmampuan model untuk memodelkan hukum kondisi batas tanpa koreksi viskositas.
- 3) Kesulitan dalam hal pemodelan masalah dengan tingkat gaya geser yang kompleks.
- 4) Identifikasi dari nilai awal pada suatu domain.

Meskipun begitu, permasalahan ini dapat diatasi dengan memulai simulasi *sloshing* pada kecepatan nol.

2.7 COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC (CFD)

CFD adalah metode penghitungan, memprediksi, dan pendekatan aliran fluida secara numerik dengan bantuan komputer. Aliran fluida dalam kehidupan nyata memiliki banyak sekali jenis dan karakteristik tertentu yang begitu kompleks, CFD melakukan pendekatan dengan metode numerasi serta menggunakan persamaan-persamaan fluida.

CFD merupakan metode penghitungan dengan sebuah kontrol dimensi, luas dan volume dengan memanfaatkan bantuan komputasi komputer untuk melakukan perhitungan pada tiap-tiap elemen pembagiannya. Prinsipnya adalah suatu ruang yang berisi fluida yang akan dilakukan penghitungan dibagi-bagi menjadi beberapa bagian, hal ini sering disebut dengan sel dan prosesnya dinamakan meshing. Bagian-bagian yang terbagi tersebut merupakan sebuah kontrol penghitungan yang akan dilakukan oleh aplikasi atau software. Kontrol-kontrol penghitungan ini beserta kontrol-kontrol penghitungan lainnya merupakan pembagian ruang yang disebutkan tadi atau meshing. Nantinya, pada setiap titik kontrol penghitungan akan dilakukan penghitungan oleh aplikasi dengan batasan domain dan boundary condition yang telah ditentukan. Prinsip inilah yang banyak dipakai pada proses penghitungan dengan menggunakan bantuan komputasi komputer.

3

CFD adalah penghitungan yang mengkhususkan pada fluida, mulai dari aliran fluida, heat transfer dan reaksi kimia yang terjadi pada fluida. Atas prinsip-prinsip dasar mekanika fluida, konservasi energi, momentum, massa, serta species, penghitungan dengan CFD dapat dilakukan. Secara sederhana proses penghitungan yang dilakukan oleh aplikasi CFD adalah dengan kontrol-kontrol penghitungan yang

telah dilakukan maka kontrol penghitungan tersebut akan dilibatkan dengan memanfaatkan persamaan-persamaan yang terlibat. Persamaan-persamaan ini adalah persamaan yang dibangkitkan dengan memasukkan parameter apa saja yang terlibat dalam domain. Boundary condition adalah kondisi dimana kontrol-kontrol perhitungan didefinisikan sebagai definisi awal yang akan dilibatkan ke kontrol-kontrol penghitungan yang berdekatan dengannya melalui persamaan-persamaan yang terlibat.

Pada proses pemodelan tangki, analisa CFD akan dilakukan dengan bantuan software ICEM CFD dan Fluent yang merupakan produk dari ANSYS. ICEM CFD digunakan pada tahap pembuatan geometri lambung tahap *meshing* baik pada model maupun pada fluida. Sedangkan untuk pengerjaan tahap selanjutnya digunakan Fluent. Analisa CFD yang akan dilakukan pada pemodelan lambung katamaran ini adalah pemodelan aliran dan perhitungan besarnya drag/ hambatan pada lambung tersebut, visualisasi aliran fluida. Program CFD terdiri dari tiga tahap yaitu : Pre-processor, Flow Solver (Solution), dan Post-processor.

Menurut (Arsad, 2013) Terdapat tiga tahapan yang dilalui pada saat melakukan simulasi dengan menggunakan *Computational Fluid Dynamics*. Diantara ketiga tahapan tersebut adalah

a. *Preprocessing*

Langkah pertama dalam melakukan simulasi dengan menggunakan *Computational Fluid Dynamic* adalah *preprocessing*. Tahap ini yaitu dengan membangun dan menganalisis model dari *Computational Fluid Dynamic*. Teknisnya adalah dengan membuat model dalam bentuk paket CAD (*Computer Aided Design*). Model tersebut lalu di-*importkan* pada pembacaan *meshing*. Setelah itu dilakukan pembuatan *mesh* yang sesuai serta menerapkan kondisi batas dan sifat-sifat fluidanya. Hal ini bergantung pada jenis analisis yang dilakukan.

b. *Solving*

Tahap kedua adalah merupakan tahap penyelesaian. Tahap ini dilakukan perhitungan dengan menerapkan kondisi-kondisi yang telah ditetapkan pada tahap *preprocessing*.

c. Post Processing

Tahap terakhir dalam melakukan simulasi menggunakan *Computational Fluid Dynamics* adalah tahap *post processing*. Tahap ini adalah mengorganisasi dan menginterpretasi data hasil simulasi *Computational Fluid Dynamic* yang bisa berupa gambar, kurva ataupun animasi.

1.8 CFD ANSYS FLUENT

Dalam pengerjaan ini dibantu oleh beberapa *software* seperti desain modeler, Inventor dan Fluent. Masing-masing memiliki fungsi sendiri. Inventor dipakai untuk membuat model tangki yang akan dianalisis. Sedangkan Fluent merupakan salah satu jenis program CFD yang menggunakan volume hingga. Fluent juga menyediakan fleksibilitas *mesh* yang lengkap, sehingga dapat menyelesaikan kasus aliran fluida dengan mesh (*grid*) yang tidak terstruktur sekalipun dengan cara yang relatif mudah.

Jenis mesh yang didukung oleh Fluent adalah tipe 2D, *quadrilateral*, 3D, *tetrahedral-hexahedral-pyramid-wedge*, dan mesh campuran (*hybrid*). Fluent juga dapat memperhalus atau memperbesar *mesh* yang sudah ada. Fluent sendiri ditulis dalam bahasa C, sehingga memiliki struktur data yang efisien dan lebih fleksibel.

Fluent sering dipakai dalam dunia industri khususnya untuk mendesain sistem fluida dan juga menganalisa kegagalan suatu sistem fluida. Fluent menjadi begitu berarti karena relatif mudah digunakan, model yang realistik (tersedia dalam berbagai pilihan *solver*), diskritisasi atau *meshing* model yang efisien, cepat dalam penyajian hasil (karena bias dipakai secara paralel), dan visualisasi yang mudah dimengerti.

2.8.1 Metode Diskritisasi Fluent

Fluent sebenarnya menggantikan persamaan-persamaan diferensial parsial dari kontinuitas, momentum, dan energi dengan persamaan-persamaan aljabar. CFD merupakan pendekatan dari persoalan yang asalnya kontinum (memiliki jumlah sel tak terhingga) menjadi model yang diskrit (jumlah sel terhingga). Perhitungan/komputasi aljabar untuk memecahkan persamaan-persamaan diferensial parsial ini ada beberapa metode (metode diskritisasi), diantaranya adalah:

- a) Metode beda hingga (*finite difference method*).
- b) Metode elemen hingga (*finite elements method*).

- c) Metode volume hingga (*finite volume method*).
- d) Metode elemen batas (*boundary element method*).
- e) Metode skema resolusi tinggi (*high resolution scheme method*).

Metode diskritisasi yang dipilih umumnya menentukan kestabilan dari program numerik/CFD yang dibuat atau program *software* yang ada. Oleh karenanya diperlukan kehati-hatian dalam cara mendiskritkan model khususnya cara mengatasi bagian yang kosong atau diskontinyu. FLUENT sendiri menggunakan metode volume hingga.

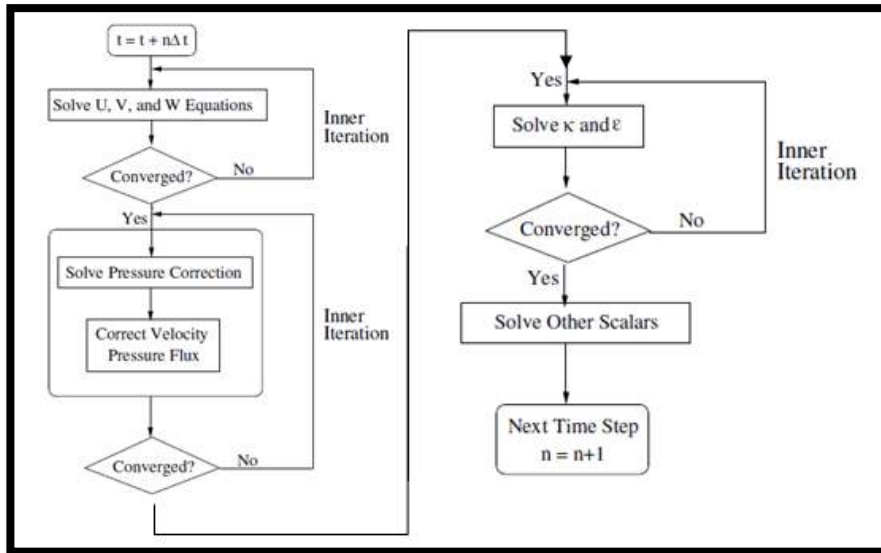
Proses Pengerjaan:

- a) Membaca file bentuk *meshing* yang didapat dari program CAD/Modeler. Selanjutnya Fluent akan membaca file *mesh* dan melaporkan kemajuannya di layar.
- b) Memeriksa *Grid*. Prosedur ini dilakukan untuk memeriksa integrity dari file *mesh*. Minimum volume diharuskan bernilai positif.
- c) Memeriksa skala dari *Grid*. Kemudian dilihat bagian kotak “Domain Extents”. Jika di sana sesuai dengan dimensi sebenarnya maka dibiarkan. Bila tidak sesuai, *Grid* harus diskala sesuai dengan ukurannya.
- d) Menampilkan *Grid*. Di sini akan ditambahkan warna agar gambar tampilan dari *Grid* benar-benar terlihat. Setelah selesai, maka biarkan grafik ditampilkan.

2.8.1 Solver pada Ansys Fluent

Ansys Fluent adalah salah satu jenis program CFD yang menggunakan metode volume hingga. Ansys Fluent menyediakan fasilitas *meshing* sehingga dapat menyelesaikan kasus fluida dengan *meshing* yang diimport dari *software* permodelan *meshing*. Ansys Fluent memiliki kelengkapan dalam fleksibilitas *meshing* sehingga bentuk mesh (grid) yang tidak beraturan sekalipun dapat dicari solusinya. Ansys Fluent juga memungkinkan anda untuk memperhalus atau memperbesar *mesh* yang sudah ada. Ansys Fluent sendiri ditulis dalam bahasa C, sehingga memiliki struktur data yang efisien dan lebih fleksibel. Ansys Fluent juga dapat digunakan bersama dengan arsitektur klien/server, sehingga dapat dijalankan sebagai proses terpisah secara simultan pada klien *desktop workstation* dan komputer *server*. Solver pada

Ansys Fluent dalam kasus *volume of fluid multiphase* dalam penelitian ini menggunakan *solver pressure based* dimana memiliki skema sebagai berikut :



Gambar 2. 12 Skema Solver pada Volume of Fluid Multifase (Anwar, 2013)

2.8.2 Grid Independence

Grid Independence merupakan salah satu asas pokok untuk akurasi dari hasil simulasi CFD. *Grid Independence* didefinisikan sebagai proses pemilihan jumlah grid yang optimum untuk proses perhitungan CFD. Ukuran grid yang digunakan berpengaruh terhadap hasil yang akan diperoleh tetapi jumlah grid yang digunakan juga harus dipertimbangkan. Penggunaan jumlah grid yang terlalu sedikit berpengaruh terhadap tingkat akurasi data yang diperoleh setelah dilakukan simulasi sehingga perlu dilakukan suatu proses untuk mendapatkan jumlah grid yang optimum.

Pada proses pemodelan, grid tertrahedral digunakan untuk bentuk-bentuk *unstructural* yang digunakan dengan *the viscous flow code* untuk komputasi domain dan menggunakan grid quadrilateral dengan *the potential flow code* untuk pemodelan kapal dan permukaan air disekitar badan kapal (Jamaluddin dkk.). Pemodelan grid menggunakan bentuk pendekatan yang *ununiform* dimana setiap elemen akan memiliki ukuran yang berbeda-beda. Grid yang uniform akan sangat membantu untuk mendefinisikan model pada daerah-daerah yang kritis terutama pada bagian yang memiliki tekukan yang tajam. Ukuran grid akan semakin mengecil dan semakin banyak jumlahnya pada daerah kritis ini. Hal ini berhubungan dengan kualitas grid

yang digunakan untuk konvergensi dan keakuratan perhitungan CFD dimana kualitas grid dibahas secara lebih terperinci oleh Deng dkk. (2010).

Dilatarbelakangi oleh tingkat kompleksitas dari atribut-atribut yang non-linier pada persamaan momentum *Navier-Stokes* dan persamaan energi dari kebanyakan permasalahan aliran yang dipengaruhi oleh viskositas cairan harus diselesaikan dengan metode numerik. *Grid (meshing)* digunakan untuk merepresentasikan permasalahan pada metode CFD yang didasarkan pada teori *Finite Volume Elements*. Sehingga, banyak muncul berbagai jenis *grid* komputasi dengan kualitas tinggi pada penggunaan metode CFD dan telah banyak tersedia literatur yang mendukung pemodelan *grid*. Berikut adalah parameter yang mempengaruhi pemodelan grid pada metode CFD :

1. *Spacing*. Pendefinisian grid memerlukan tingkat kerapatan untuk dapat menghasilkan konservasi dari massa dan momentum pada suatu level tertentu. Maka, mengurangi ukuran *grid* mengakibatkan kebutuhan akan kemampuan dan kualitas komputasi yang tinggi pula. Kebutuhan tersebut bergantung pada tipe dari solusi algoritma yang dipilih. Pada permasalahan tertentu, membutuhkan penetapan *time step* yang didasarkan pada ukuran *grid (mesh)* kecil membutuhkan *time step* yang lebih kecil). Proses tersebut diatur oleh *Courant number*, yang akan dipengaruhi oleh besar kecilnya *time step* yang digunakan.
2. *Resolution*. Jarak dari grid sebisa mungkin dalam ukuran yang kecil yang dimaksudkan untuk menentukan pola aliran pada seluruh kondisi batas. Pada hal ini penting dalam penggunaan model turbulen, dimana posisi dari *grid* yang paling dekat dengan dinding memiliki pengaruh yang besar terhadap kualitas hasil metode CFD.
3. *Geometry*. Meskipun bukan merupakan parameter utama dalam permasalahan pemodelan *grid*, namun *grid* harus memberikan representasi tingkat akurasi dari geometri yang digunakan. Hal ini akan sangat penting ketika ada perubahan ukuran *grid* dalam bentuk yang kecil (seperti riak dari gerakan fluida) pada permukaan dinding.

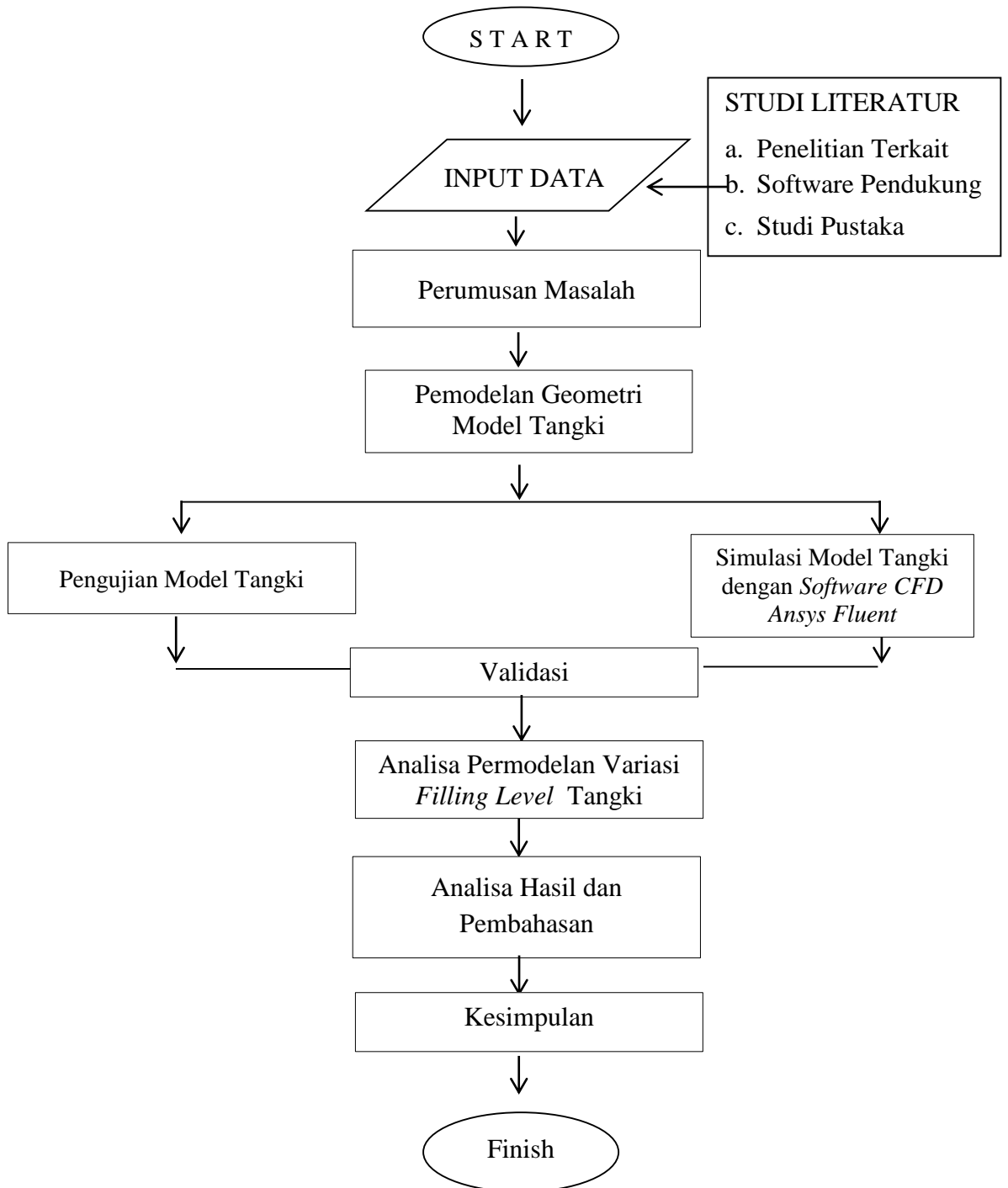
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Metodologi yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat dalam gamabr 3.1.



Gambar 3.1 Bagan Alir Rencana Penelitian

3.2 Studi Literatur

Dalam tahap ini, penulis mencari sumber informasi yang berkaitan dan mendukung penelitian, seperti buku, *paper*, hasil penelitian, hasil seminar dan lain-lain yang berhubungan terkait gerakan kapal, tangki dan *sloshing*.

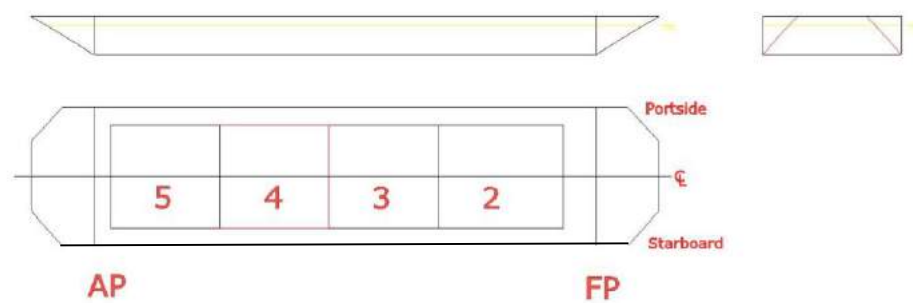
3.3 Pengumpulan Data Kapal

Pada tahap ini, penulis mengumpulkan data yang dibutuhkan untuk penelitian. Data awal yang diperlukan adalah data kapal dan data tangki kapal LNG FPSO dari penelitian sebelumnya pada *paper* Lee S J dkk (2005) yang berjudul “*The effects of LNG-tank sloshing on the global motions of LNG Carriers*”. Untuk tangki yang digunakan adalah jenis *rectangular tank*.

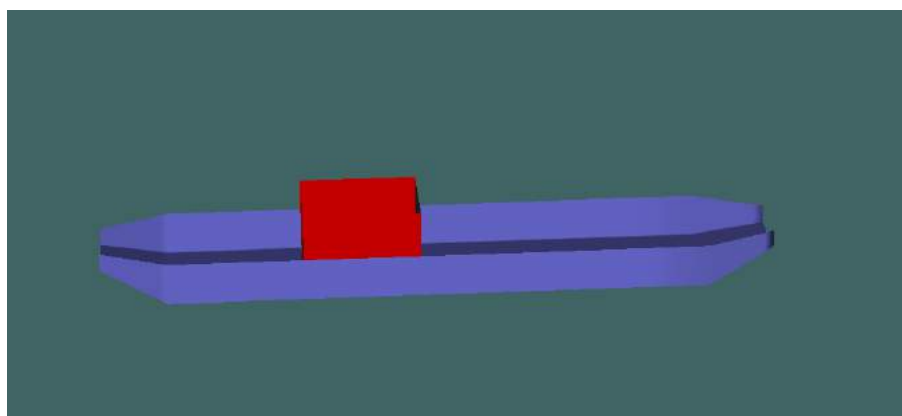
Tabel 3.1 Ukuran utama kapal dan tangki

Description Magnitude	Dimension	Unit
Length between perpendicular	285	m
Breadth	63	m
Draught	13	m
Displacement volume	220,017.60	m ³
Displacement mass in seawater	225.518.0	ton
Longitudinal COG	142.26	m
Transverse metacentric height	15.3	m
Vertical center of gravity	16.71	m
Vertical center of buoyancy	6.596	m
Transverse metacenter above base line	32.01	m
Mass radius of gyration around X-axis	19.49	m
Mass radius of gyration around Y-axis	78.42	m
Mass radius of gyration around Z-axis	71.25	m
Mooring stiffness		
Surge	6.50×10^5	kN/m
Sway	2.43×10^6	kN/m
Yaw	1.76×10^8	kN/rad
AFT TANK no.4 (inner dimensions given)		
Tank aft from aft perpendicular	61.08	m
Tank bottom from keel line	3.3	m
Tank length	49.68	m
Tank breadth	46.92	m
Tank height	32.23	m

FORWARD TANK no.2 (inner dimensions given)		
Tank aft from aft perpendicular	209.54	m
Tank bottom from keel line	3.3	m
Tank length	56.616	m
Tank breadth	46.92	m
Tank height	32.23	m
Simulation Environment		
Wind	N/A	
Current	N/A	
Wave Heading	90	deg
Significant height	5	m
Peak period	12	s
g of JONSWAP spectrum	3.3	



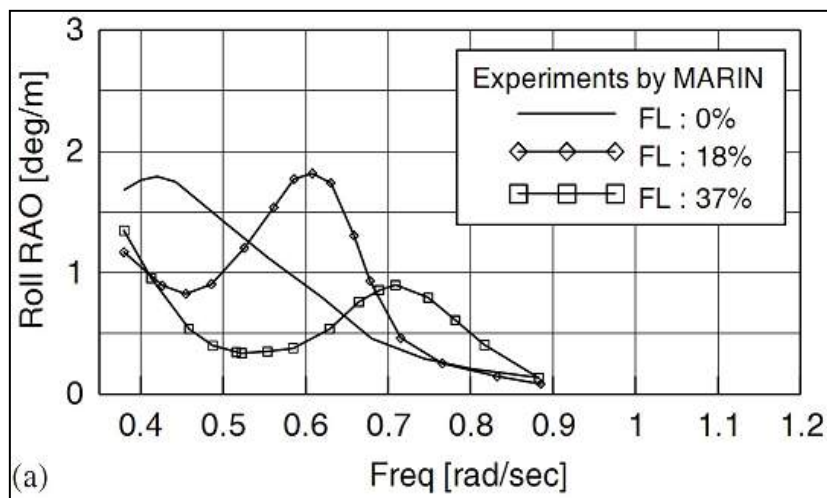
Gambar 3.2 Lokasi Tangki pada Kapal



Gambar 3.3 Tangki pada kapal dengan Marxsuf

3.3.1 RAO Rolling Hasil Eksperimen dari MARIN-FPSO

Data RAO yang didapat adalah data RAO rolling berdasarkan eksperimen oleh MARIN –FPSO oleh penelitian sebelumnya (Lee S J dkk, 2005) yang berupa grafik perbandingan antara frekuensi (rad/s) dengan roll RAO (deg/m). RAO yang diambil saat *filling level* 0% dikarenakan pada saat *filling level* 0% tidak ada pengaruh sloshing yang terjadi pada tangki, sehingga RAO kapal diperoleh yang paling optimum dan mendekati sebenarnya.



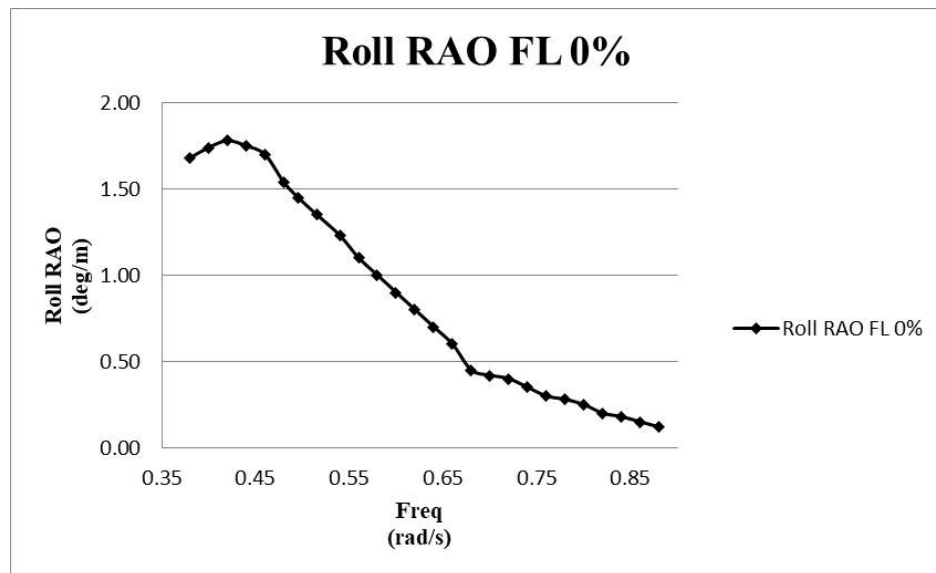
Gambar 3.4 Grafik RAO Hasil Experiment MARIN-FPSO

Tabel 3.2 Data Rolling RAO

Freq (rad/s)	Roll RAO(deg/m)
0.38	1.68
0.40	1.74
0.42	1.78
0.44	1.75
0.46	1.70
0.48	1.54
0.50	1.45
0.52	1.35
0.54	1.23
0.56	1.10
0.58	1.00
0.60	0.90
0.62	0.80
0.64	0.70
0.66	0.60
0.68	0.45

0.70	0.42
0.72	0.40
0.74	0.35
0.76	0.30
0.78	0.28
0.80	0.25
0.82	0.20
0.84	0.18
0.86	0.15
0.88	0.12

Tabel 3.2 didapat dari plot gambar 3.4 grafik RAO hasil eksperimen MARIN-FPSO pada *filling level* 0%, kemudian dari tabel tersebut dibuatlah gambar grafik RAO Rolling sebagai data penelitian ini



Gambar 3.5 Grafik Roll RAO

3.3.2 Perhitungan Gerakan Kapal

Diketahui bahwa gaya gravitasi = $9,81 \text{ m/s}^2$, $v = 0 \text{ knots}$, Peak Periode = 12 s, heading = 90° untuk amplitudo gelombang akan divariasikan menjadi 2, 2.5 dan 3 m. Maka didapatkan :

- a. Panjang gelombang (L_ω)

$$\begin{aligned}
 L_\omega &= \frac{gT_\omega^2}{2\pi} \\
 &= 224.943 \text{ m}
 \end{aligned}$$

b. Peiode Gelombang (T_w)

$$T_w = \left(\frac{2\pi L_w}{g} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= 12 \text{ s}$$

c. Frekuensi Gelombang (ω_w)

$$\omega_w = (2g/L_w)^{0.5}$$

$$= 0.52333 \text{ rad/s}$$

d. Frekuensi Encountering (ω_e)

$$\omega_e = \omega_w - (1 - V_s/V_w) \cos \mu$$

$$= 0.52333 \text{ rad/s}$$

Dikarenakan nilai kecepatan (v) = 0 dan sudut heading (μ) = 90 derajat, maka nilai frekuensi gelombang dan frekuensi encountering sama yaitu 0.52333 rad/s

Untuk pengambilan data RAO Roll kapal pada gambar 3.5, nilai frekuensi dan RAO kapal didapat dari grafik Roll RAO hasil eksperimen MARIN-FPSO pada *filling level* 0% yang paling besar. Maka didapatkan nilai RAO Roll kapal = 1.78 deg/m dan frekuensi roll kapal = 0.42 rad/s

e. $RAO = \phi_a^2 / \zeta a^2$

f. Amplitudo Kapal (ϕ_a)

$$\phi_a = \sqrt{RAO} * \zeta a^2 \text{ (dijadikan satuan rad)}$$

ζa (*amplitudo gelombang*) divariasikan pada 2, 2.5 dan 3 m

$$\phi_a \text{ 2 m} = 0.044 \text{ rad}$$

$$\phi_a \text{ 2.5 m} = 0.049 \text{ rad}$$

$$\phi_a \text{ 3 m} = 0.054 \text{ rad}$$

g. Respon Gerakan Kapal ($y(t)$)

$$y(t) = \phi_a * \cos(\omega * \text{time})$$

$$y(t)_2 = 0.044 * \cos(0.42 * \text{time})$$

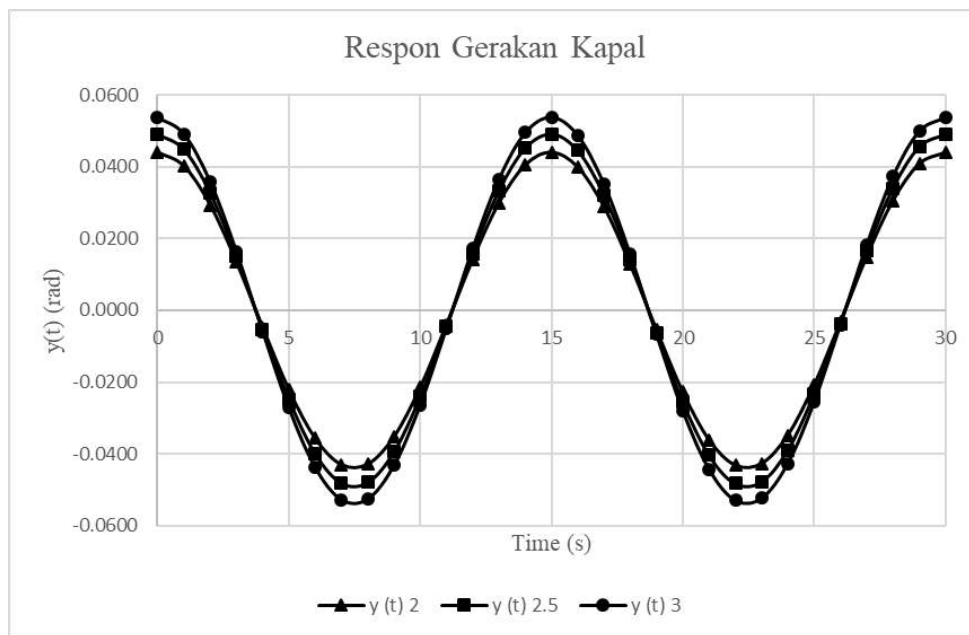
$$y(t)_{2.5} = 0.049 * \cos(0.42 * \text{time})$$

$$y(t)_3 = 0.054 * \cos(0.42 * \text{time})$$

Setelah perhitungan maka kita akan mendapatkan hasil respon gerakan kapal menggunakan persamaan $y(t)$ kemudian akan dibuat tabel 3.3 dan gambar 3.6 grafik respon gerakan kapal.

Tabel 3.3 Nilai Respon Gerakan Kapal

0	0.0439	0.0491	0.0538
1	0.0401	0.0448	0.0491
2	0.0293	0.0328	0.0359
3	0.0134	0.0150	0.0164
4	-0.0048	-0.0054	-0.0059
5	-0.0222	-0.0248	-0.0272
6	-0.0357	-0.0399	-0.0437
7	-0.0430	-0.0481	-0.0527
8	-0.0429	-0.0479	-0.0525
9	-0.0353	-0.0394	-0.0432
10	-0.0215	-0.0241	-0.0264
11	-0.0041	-0.0045	-0.0050
12	0.0141	0.0158	0.0173
13	0.0299	0.0334	0.0366
14	0.0404	0.0452	0.0495
15	0.0439	0.0491	0.0538
16	0.0398	0.0445	0.0487
17	0.0288	0.0322	0.0352
18	0.0127	0.0142	0.0156
19	-0.0055	-0.0062	-0.0068
20	-0.0228	-0.0255	-0.0279
21	-0.0361	-0.0404	-0.0442
22	-0.0432	-0.0483	-0.0529
23	-0.0427	-0.0477	-0.0523
24	-0.0348	-0.0389	-0.0426
25	-0.0209	-0.0233	-0.0256
26	-0.0033	-0.0037	-0.0041
27	0.0148	0.0166	0.0182
28	0.0304	0.0340	0.0372
29	0.0407	0.0455	0.0498
30	0.0439	0.0491	0.0538



Gambar 3.6 Grafik Respon Gerakan Kapal

3.3.3 Perhitungan Periode *Rolling*

Periode *rolling* dari kapal dihitung menggunakan pendekatan rumus matematis dengan melihat pergerakan kapal dan percepatan yang terjadi diasumsikan sebagai fungsi sinusoidal. Pergerakan dari kapal didefinisikan memiliki amplitudo tunggal dengan menggunakan persamaan untuk mencari periode *rolling* kapal pada RAO roll kapal = 1.78 deg/m dan frekuensi roll kapal = 0.42 rad/s

$$T_{\theta} = 2\pi f_{roll}$$

Dimana :

T_{θ} = periode rolling kapal (s)

f_{roll} = frekuensi rolling kapal (rad/s)

Sehingga perhitungan periode rolling dari kapal adalah

$$\begin{aligned} T_{\theta} &= 2\pi f_{roll} \\ &= 2 \times 3.14 \times 0.42 \\ &= 2.64 \text{ s} \end{aligned}$$

Periode rolling kapal ini juga menjadi periode rolling tangki yang akan kita gunakan pada penelitian ini.

3.3.4 Perhitungan Ketinggian Cairan

Filling level dari fluida telah disebutkan dalam batasan masalah. *Filling Level* yang dimaksud diantaranya adalah sebesar 15%, 30%, serta 90%, sedangkan tinggi dari tangki sebesar 0.3223 m. Maka didapat tinggi fluida pada *filling level* masing-masing dilihat pada tabel 3.4

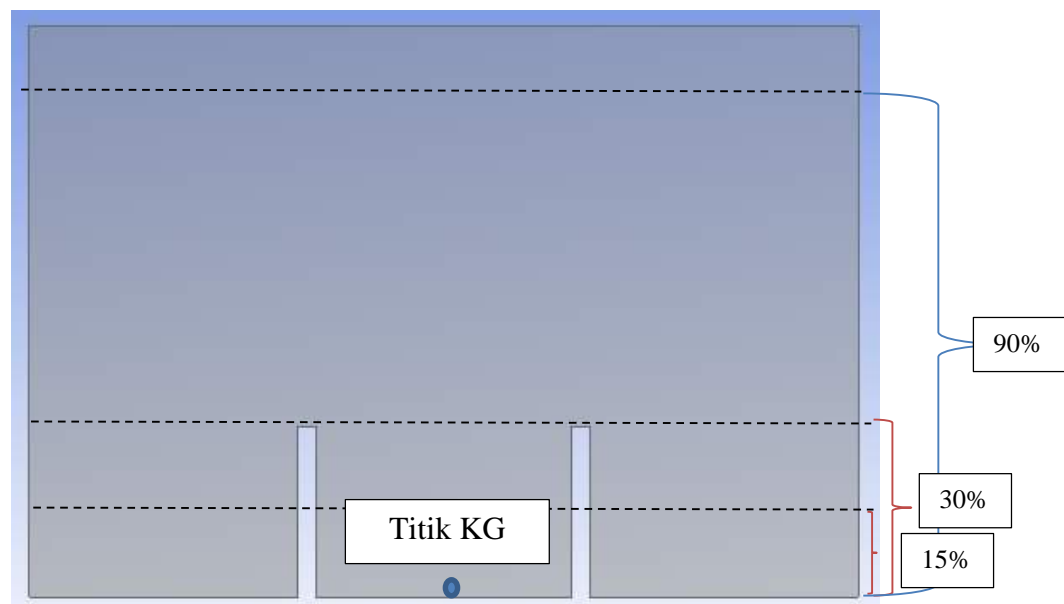
Tabel 3. 4 Ketinggian Fluida sesuai filling level

<i>Filling Level</i>	Ketinggian Fluida (m)
15 %	0.048
30 %	0.096
90 %	0.290

Data ketinggian ini menjadi acuan pada saat proses *region adaption* dan *patching* dari fluida dengan menggunakan software *Computational Fluid Dynamic Ansys Fluent*

3.3.5 Perhitungan Jarak KG Rolling

Tangki akan seolah-olah berputar dengan jari-jari tertentu dengan poros yang berada pada titik gravitasi apabila pada tangki terjadi pergerakan rolling. Maka akan dihitung KG berdasarkan ketinggian fluida pada *filling level* masing-masing yang disesuaikan dengan pengujian tangki. Untuk perhitungannya sebagai berikut :



Gambar 3. 7 Penentuan Titik KG Rolling Tangki

3.3.6 Pendefinisian Gerakan Rolling pada UDF

Gerakan rolling yang didefinisikan sebagai gerakan sinusoidal pada gelombang reguler. Pergerakan dari tangki diturunkan dengan persamaan posisi untuk menjadi kecepatan.

$$\theta_{roll} = \theta a \sin(\omega t)$$

Dimana :

θ_{roll} = posisi dari tangki (m)

θa = amplitudo dari rolling (m)

ω = kecepatan angular dari rolling (rad/s)

t = waktu tertentu (s)

Perlu dihitung kecepatan rotasi yang diakibatkan oleh gerakan rolling. Fungsi posisi dari rolling perlu diturunkan terhadap waktu. Maka dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\omega_{roll} = d(\theta_{roll}) / dt$$

Sehingga :

$$\omega_{roll} = (\theta a \sin(\omega t)) / dt$$

$$\omega_{roll} = \theta a (\omega) \cos(\omega t)$$

Dimana :

ω_{roll} = fungsi kecepatan osilasi dari rolling

θa = amplitudo rolling (rad)

ω = kecepatan angular dari rolling (rad/s)

t = waktu tertentu (s)

Frekuensi *rolling* telah didapatkan pada perhitungan sebelumnya yaitu sebesar 0.42 rad/s, sedangkan untuk amplitudo dari rolling dilakukan pengukuran saat pengujian dengan menggunakan persamaan $\tan \alpha$, yaitu perbandingan antara jarak titik poros dengan lebar tangki dibandingkan dengan jarak rolling tangki yang dihasilkan. Setelah itu maka kita mencari sudut rolling (α), maka didapatkan sudut *rolling* sebesar 5 derajat, maka didapatkan amplitudo rolling sebesar 0.0873 rad. Persamaan rolling yang didefinisikan bergerak secara osilasi rotasi dengan periode tertentu.

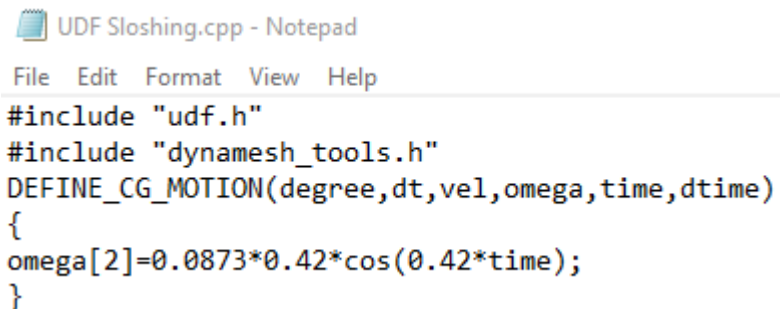
3.3.7 User Defined Function

Pembuatan *User Defined Function* seperti yang disebutkan sebelumnya adalah untuk mendefinisikan pergerakan dari meshing yang terjadi. Akan dibahas mengenai persamaan yang menyatakan kecepatan dari dynamic mesh tersebut pada sub bab selanjutnya. Persamaan tersebut adalah

$$\omega_{roll} = \theta a(\omega) \cos(\omega t)$$

$$\omega_{roll} = 0.0873(0.42) \cos(0.42t)$$

Persamaan ini perlu didefinisikan kembali kedalam program C agar dapat dikomunikasikan pada software Fluent.



```
UDF Sloshing.cpp - Notepad
File Edit Format View Help
#include "udf.h"
#include "dynamesh_tools.h"
DEFINE_CG_MOTION(degree,dt,vel,omega,time,dttime)
{
    omega[2]=0.0873*0.42*cos(0.42*time);
}
```

Gambar 3. 8 Pembuatan UDF

3.4 Permodelan Geometri Tangki

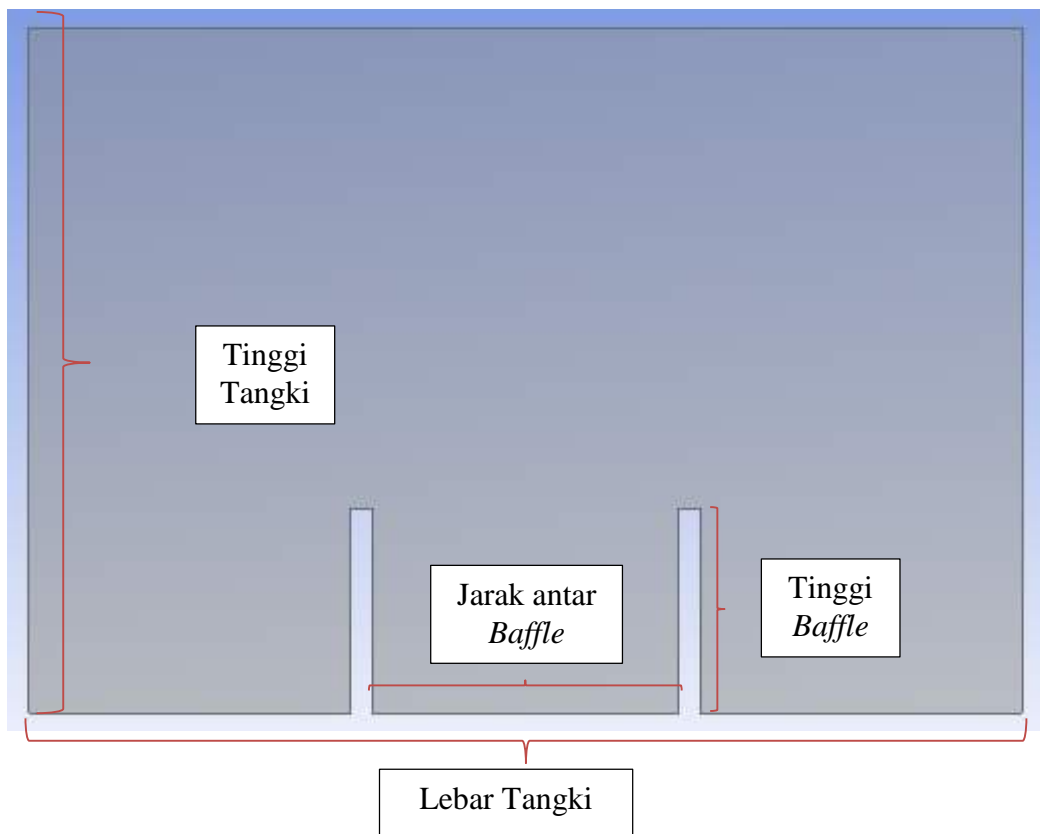
Pada tahap ini dilakukan pembuatan permodelan geometri tangki dengan menggunakan software inventor untuk pembuatan tangki pengujian dan simulasi.

Tabel 3. 5 Model Ukuran Tangki

Items	Dimension	Units	Skala 1:100	Unit
Panjang	49.68	[m]	49.68	[cm]
Lebar Tangki	46.92	[m]	46.92	[cm]
Tinggi Tangki	32.23	[m]	32.23	[cm]

Tabel 3. 6 Model Ukuran Baffle

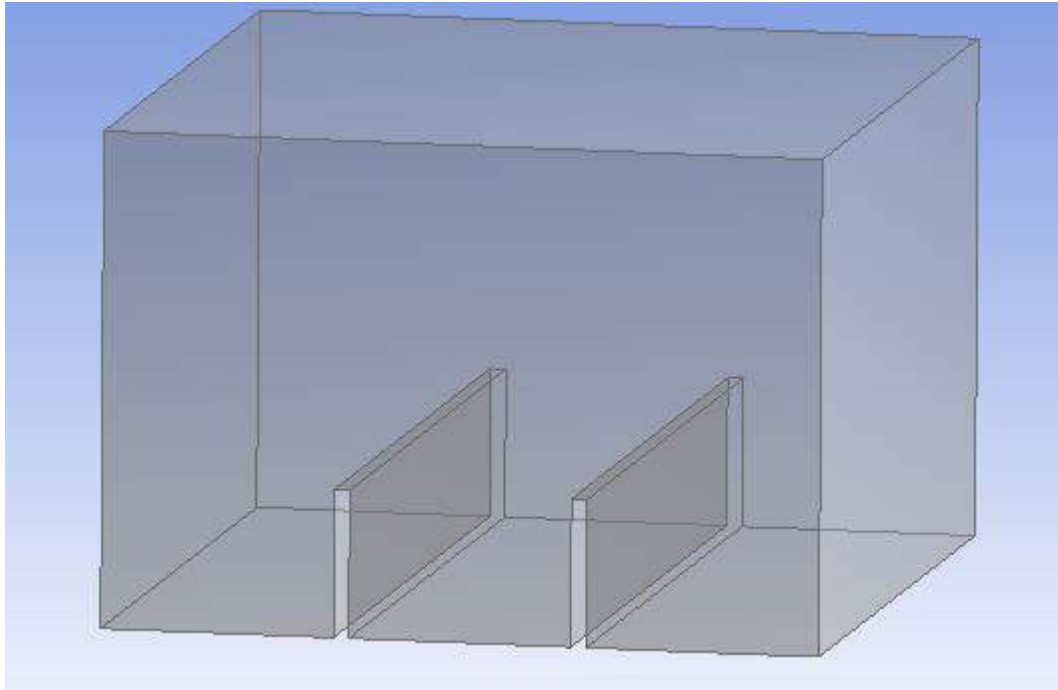
Items	Dimension	Units	Skala 1:100	Unit
Tingi	9.6	[m]	9.6	[cm]
Tebal	0.5	[m]	5	[mm]
Jarak Baffle pada 1 Baffle	23.46	[m]	23.46	[cm]
Jarak Baffle pada 2 Baffle	15.64	[m]	15.64	[cm]



Gambar 3.9 Detail Model Tangki



Gambar 3.10 Model Tangki Pengujian

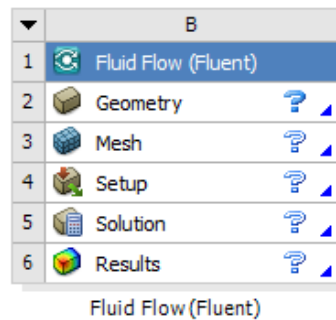


Gambar 3.11 Model Tangki Simulasi

Gambar 3.9 dan 3.10 menunjukkan gambar model tangki untuk simulasi CFD Ansys FLUENT dengan ukuran yang sudah dibuat sesuai Tabel 3.4 dan Tabel 3.5

3.5 Simulasi Model Tangki dengan Software CFD Ansys Fluent

Pada tahap ini dilakukan simulasi model tangki dengan menggunakan software CFD Ansys Fluent dengan prosedur yang sudah ada pada software tersebut.



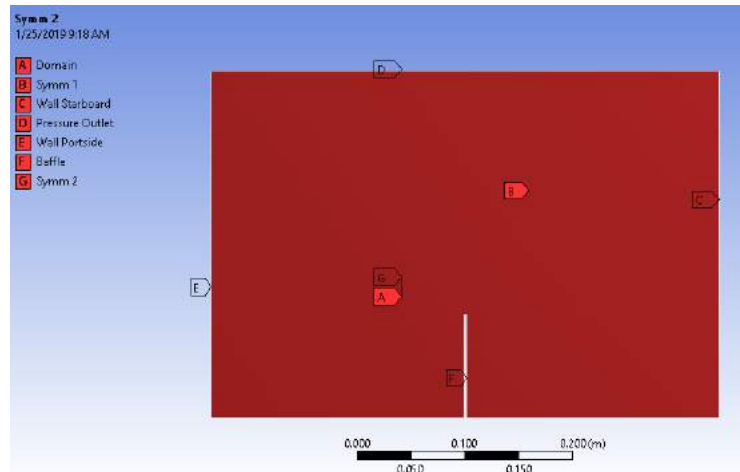
Gambar 3. 12 Proses Simulasi CFD Ansys Fluent

3.5.1 Geometry

Setiap bagian yang telah dibuat dalam software Ansys ICEM CFD harus didefinisikan terlebih dahulu (dilakukan pada menu meshing) agar didapatkan data sesuai dengan data percobaan sesungguhnya. Pendefinisian model dalam hal ini berupa pemberian kondisi batas dari model yang akan dilakukan simulasi. Kondisi batas dapat berupa kondisi dari aliran fluida, kondisi kekasaran badan kapal, kondisi massa jenis fluida, kondisi tekanan udara dan lain-lain. Pendefinisian model dilakukan dengan menggunakan software CFD Ansys Fluent.

Proses simulasi dengan menggunakan CFD-Ansys Fluent dilakukan dengan 2 metode simulasi yaitu dengan menggunakan *free surface* dan tanpa *free surface*. Simulasi dengan menggunakan *free surface* merupakan salah satu metode dengan menerapkan kondisi 2 fluida (air dan udara) tanpa mengabaikan luapan air hingga diatas batas tangki sehingga didapat total pressure tangki. Sedangkan penggunaan prinsip tanpa *free surface* merupakan metode dengan menerapkan kondisi 1 fluida (air). Pada simulasi dengan *free surface*, penerapan kondisi batas untuk *inlet* adalah ketinggian aliran fluida (air dan udara), tekanan udara, gaya gravitasi, suhu fluida dan model turbulen yang perlu diterapkan. Pada proses penelitian ini menggunakan metode simulasi *free surface* karena penerapan kondisi 2 fluida pada proses simulasi pada tangki.

Bagian-bagian yang dianggap penting untuk dianalisis lebih lanjut perlu didefinisikan. Selain itu pendefinisian selection juga berfungsi untuk memudahkan pengguna dalam melakukan export pada variabel yang ingin diketahui pada analisis sloshing. Diantara selection yang akan didefinisikan adalah berupa domain sekat, domain pressure, serta domain dari keseluruhan ruang muat.

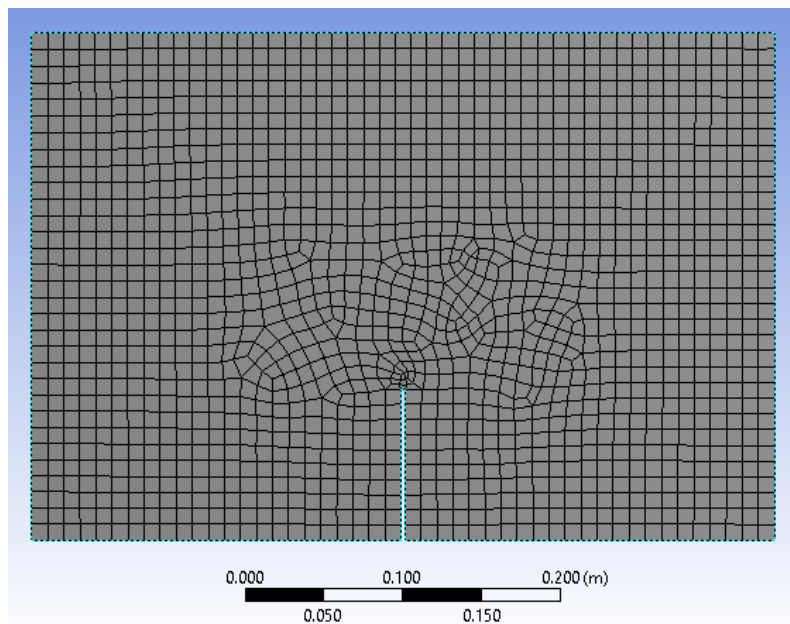


Gambar 3. 13 Lokasi Kondisi Batas

Huruf A didefinisikan sebagai '*domain*' dari benda yang akan disimulasikan. Selection A ini didefinisikan sebagai *body*, karena perlu didefinisikan bagian dari keseluruhan domain fluida yang akan bergerak secara rotasi osilasi pada sumbu z. Huruf B dan C didefinisikan sebagai bagian '*symm1*' dan '*symm2*'. Bagian ini merupakan bagian yang simetris, artinya fluida yang terjadi pada bagian B dan C memiliki karakteristik yang sama, selain itu untuk bagian B dan C didefinisikan sebagai *symm* karena analisis yang dilakukan adalah analisis 2 dimensi. Bagian D didefinisikan sebagai '*Pressure Outlet*'. Bagian ini didefinisikan sebagai luasan yang terjadi tekanan dari luar tangki. Tekanan yang terjadi pada bagian ini sama dengan tekanan udara luar. Bagian E didefinisikan sebagai '*wall starboard*', karena bagian ini mengalami tekanan pada bagian kanan tangki. Bagian F didefinisikan sebagai '*wall portside*', karena bagian ini mengalami tekanan pada bagian kiri tangki. Bagian G didefinisikan sebagai '*baffle / bottom* (pada tangki *non baffle*)', karena bagian ini mengalami tekanan pada bagian bawah tangki.

3.5.2 Meshing

Meshing perlu dilakukan pada domain yang telah dibuat. Tahap *meshing* juga dilakukan proses *refinement*. *Refinement* adalah proses memperkecil ukuran mesh pada bagian-bagian tertentu. *Refinement* perlu dilakukan pada bagian yang dianggap perlu dilakukan analisis lebih lanjut. Proses ini dilakukan pada daerah disekitar domain yang berada pada sekat karena analisis yang akan dilakukan pada bagian konstruksi sekat. *Refinement* yang digunakan dengan menggunakan metode *face sizing* yang berada pada fitur *meshing*. Fitur ini dapat dipilih pengguna pada bagian menu ‘*meshing*’.



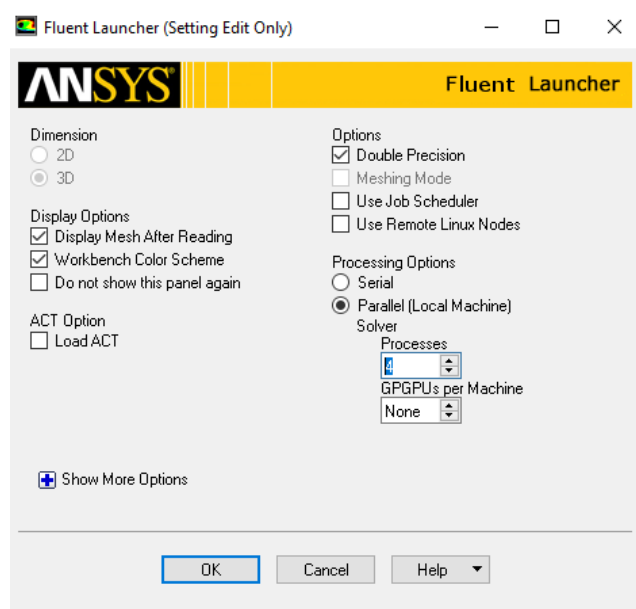
Gambar 3.14 Meshing Tangki Simulasi

Ukuran dari elemen *face sizing* yang diambil adalah sebesar 0.01 m, sedangkan untuk bagian global dari model perlu dilakukan *study* lebih lanjut mengenai *grid convergence* yang akan dibahas pada sub bab berikutnya. Pendefinisian ukuran *meshing* bergantung dari kapasitas komputer yang digunakan. Semakin kecil ukuran elemen yang digunakan artinya semakin banyak jumlah elemen yang terdapat dalam satu model, maka proses simulasi yang akan dilakukan juga semakin lama.. Juga sebaliknya, apabila ukuran elemen yang digunakan semakin kecil maka jumlah elemen dari model akan sedikit sehingga proses simulasi yang digunakan relatif singkat dengan simulasi sebelumnya.

Proses meshing diperlukan untuk mendapatkan jumlah element yang optimal dalam proses simulasi. Secara default size meshing terdiri dari growth rate = 1.2 dan max size = 0.007 m, inilah yang penulis variasikan untuk mendapatkan *grid independence* yang menghasilkan jumlah node dan elemen yang optimal. Pada penelitian ini setelah melakukan percobaan beberapa kali maka didapatkan hasil meshing yang paling optimum pada tangki dengan penggunaan 1 *baffle* adalah jumlah element = 1528 pada *face sizing* = 0.01 m, sebagai dasar dalam proses simulasi *CFD Ansys Fluent* selanjutnya.

Jumlah element grid yang digunakan pada penelitian ini ± 1500 . Dikarenakan domain fluida yang dibuat adalah 2 dimensi, sehingga perlu dilakukan pendefinisian 2 dimensi tersebut dengan menggunakan fitur sweep. Fitur sweep sendiri adalah pendefinisian meshing berdasarkan pembagian regionnya. Pembagian region pada meshing secara memanjang adalah sebesar 1 untuk dapat didefinisikan sebagai dua dimensi, artinya sepanjang bagian model hanya terdapat 1 elemen pada setiap bagiannya, sehingga jumlah element meshingnya sebesar ± 1500 .

3.5.3 Set Up



Gambar 3. 15 *Fluent Launcher*

Dipilih double precision agar hasil dari analisis lebih presisi. Aliran fluida yang dihitung akan dikalkulasi pada aliran maju dan mundur. Aliran dihitung pada cell pertama, kemudian dilanjutkan dengan cell berikutnya sampai pada cell terakhir, setelah itu perhitungan aliran dihitung dari cell terakhir kemudian dilanjutkan dengan cell sebelumnya hingga dengan cell pertama. Error tidak akan terjadi apabila hasil yang didapatkan dari hitungan pertama dengan hitungan kedua sama.

Konsekuensi dengan dipilihnya double precision adalah memerlukan waktu yang lebih lama dalam melakukan perhitungan untuk aliran maju dan mundur. Dipilihlah solver yang bersifat paralel untuk mengatasi hal tersebut. Paralel artinya perhitungan dari aliran fluida akan dihitung pada setiap processor dan hasilnya akan digabungkan untuk didapatkan perhitungan yang menyeluruh. Jumlah processor yang dipilih adalah sejumlah 6 karena CPU yang digunakan adalah berjenis quadcore dengan masing-masing thread berisi 2. Dipilih display mesh after reading agar dapat menampilkan meshing yang telah dilakukan. Hal ini dilakukan untuk memudahkan pengguna dalam memberikan gambaran mengenai model yang telah dibuat untuk dilakukan analisis.

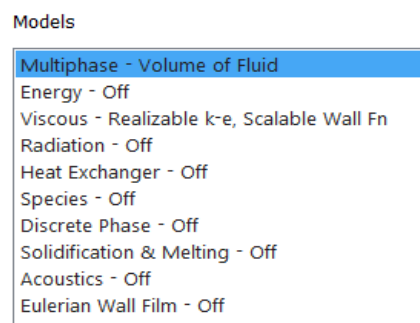
The image shows the 'Solver' setup window in ANSYS Fluent. Under the 'Type' tab, 'Pressure-Based' is selected. Under 'Velocity Formulation', 'Absolute' is selected. Under 'Time', 'Transient' is selected. The 'Gravity' checkbox is checked, and the 'Units...' button is next to it. Below, the 'Gravitational Acceleration' section shows input fields for X (m/s2) with value 0, Y (m/s2) with value -9.81, and Z (m/s2) with value 0. Each input field has a 'P' button next to it.

Gambar 3.16 Set Up General

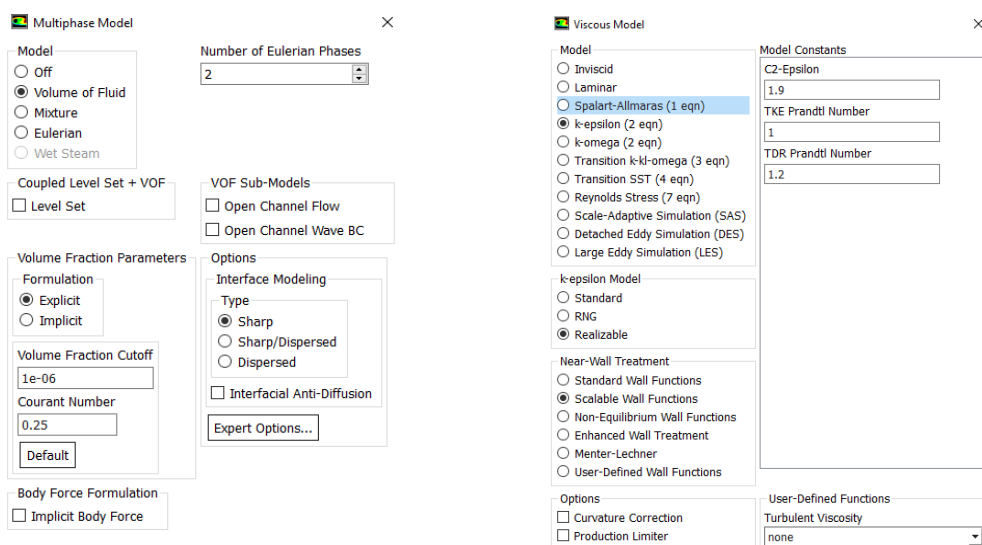
Bagian type dipilih pressure-based karena aliran yang terjadi pada domain tersebut memiliki massa jenis yang tetap, hanya saja tekanan yang berada pada domain

tersebut berubah-ubah. Persamaan yang digunakan pada analisis ini adalah dengan menggunakan persamaan navier stokes. Bagian waktu dipilih transient karena analisis yang dilakukan merupakan analisis yang bergantung pada waktu. Bagian gravity dicentang karena fluida yang dianalisis bergantung pada percepatan gravitasi yaitu sebesar -9.81 m/s^2 .

Perlu dilakukan pengecekan apakah meshing yang telah dibuat terjadi error atau tidak dengan melihat pada bagian check setelah meshing dibaca. Error biasanya terjadi pada meshing yang tidak terkoneksi antara satu geometri dengan geometri lainnya, sedangkan untuk penelitian ini geomteri yang telah dibuat hanya berjumlah satu yaitu pada bagian ruang muat saja. Fluent juga menyediakan penyekalaan dari model. Hal ini dilakukan apabila analisis dilakukan pada model yang memiliki ukuran tidak sama dengan aslinya. Penelitian ini menggunakan ukuran model tangki simulasi yang sudah dibuat.



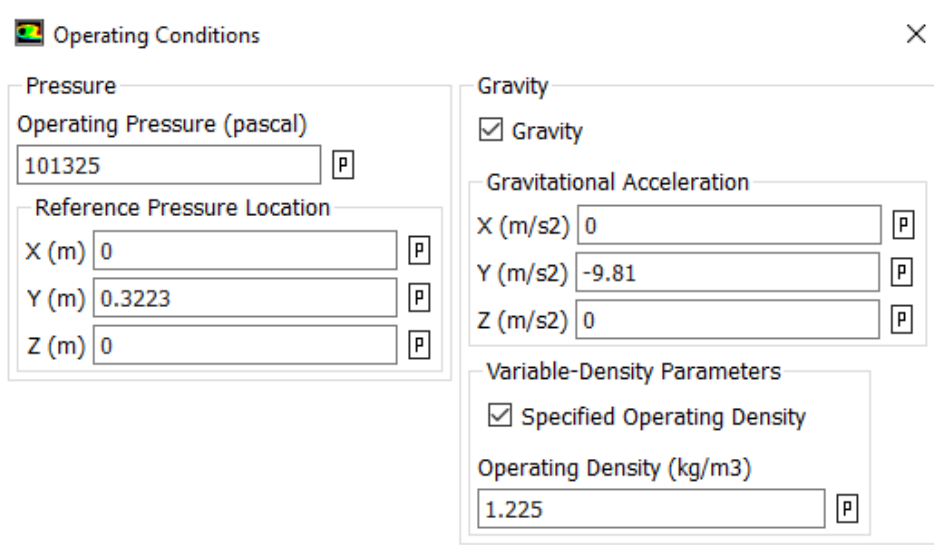
Gambar 3.17 Set Up Model



Gambar 3. 18 Set Up Multiphase dan Viscous

Multiphase yang digunakan adalah dengan menggunakan metode *volume of fluid*, karena jumlah fluida yang terdapat pada satu fluid domain adalah berjumlah dua. Jumlah fase eularian yang dipilih berjumlah dua maka, sedangkan untuk bagian dari body force juga dicentang karena gaya yang terjadi pada domain fluida juga diperhitungkan. Bagian Interface modelling dipilih sharp karena pada bagian pertemuan dua fluida tersebut tidak ikut bercampur. Bagian model juga perlu didefinisikan mengenai karakteristik dari fluida beserta sifat viskositasnya. Penelitian ini menggunakan fluida air dan udara sehingga terdapat dua fluida pada satu domain fluida. Model yang digunakan adalah jenis multiphase sedangkan untuk model viskositas yang dipilih adalah dengan menggunakan model k-epsilon.

Metode VOF (Volume of Fluids) ini termasuk kedalam simulasi aliran multiphase. Menurut (Burrow, 2016) dalam penelitiannya mengatakan bahwa simulasi yang digunakan menggunakan volume fraction yang bervariasi antara 0 hingga 1 nilainya. Nilai 0 mengindikasikan bahwa pada bagian tersebut terdapat fase gas atau dalam hal ini udara, begitu juga dengan nilai 0 yang mengindikasikan merupakan fase fluida yang dalam hal ini adalah air. Setting dari courant number harus dipilih pada nilai 1 agar didapat dihasilkan simulasi yang stabil. Dasar inilah yang digunakan pada proses *patching* (*sub bab 3.5.4*) pada proses *solution* di *CFD Ansys Fluent*.

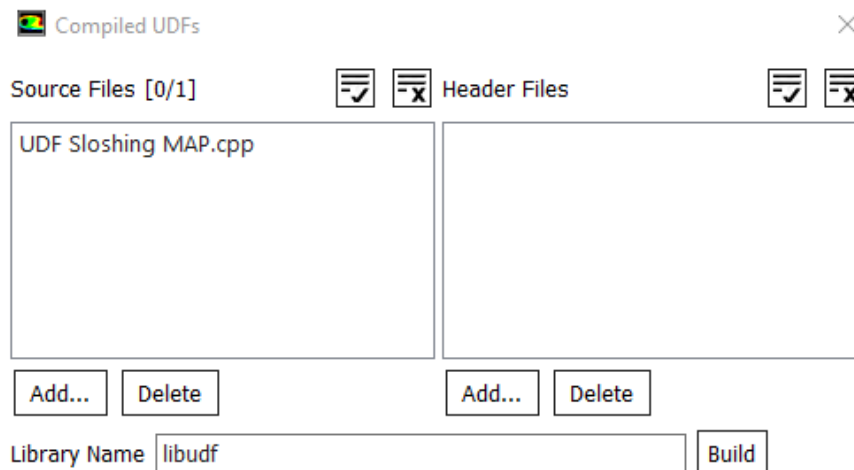


Gambar 3. 19 Set Up Operating Condition

Kondisi operasi dari fluida juga perlu didefinisikan pada simulasi. Hal ini dilakukan untuk menentukan kondisi batas dari domain fluida yang disimulasikan. Tekanan pada atas tangki didefinisikan sebagai sama dengan tekanan atmosfer. Bagian atas dari tangki yang terletak 0.3223 m terdapat tekanan sebesar tekanan atmosfer, sedangkan gravitasi yang digunakan adalah sebesar -9.81 m/s^2 kearah sumbu y. Operating density secara otomatis akan muncul nilainya ketika gravitasi dari simulasi fluida dicentang.

Perlu dilakukan pengintegrasian antara program *Fluent* dengan *UDF* untuk dapat menggerakkan kompartemen ruang muat. *UDF* merupakan singkatan dari *User Defined Function*, artinya dengan menggunakan fitur tersebut dapat ditulis program dalam bentuk bahasa C yang selanjutnya dikomunikasikan pada *software Fluent*.

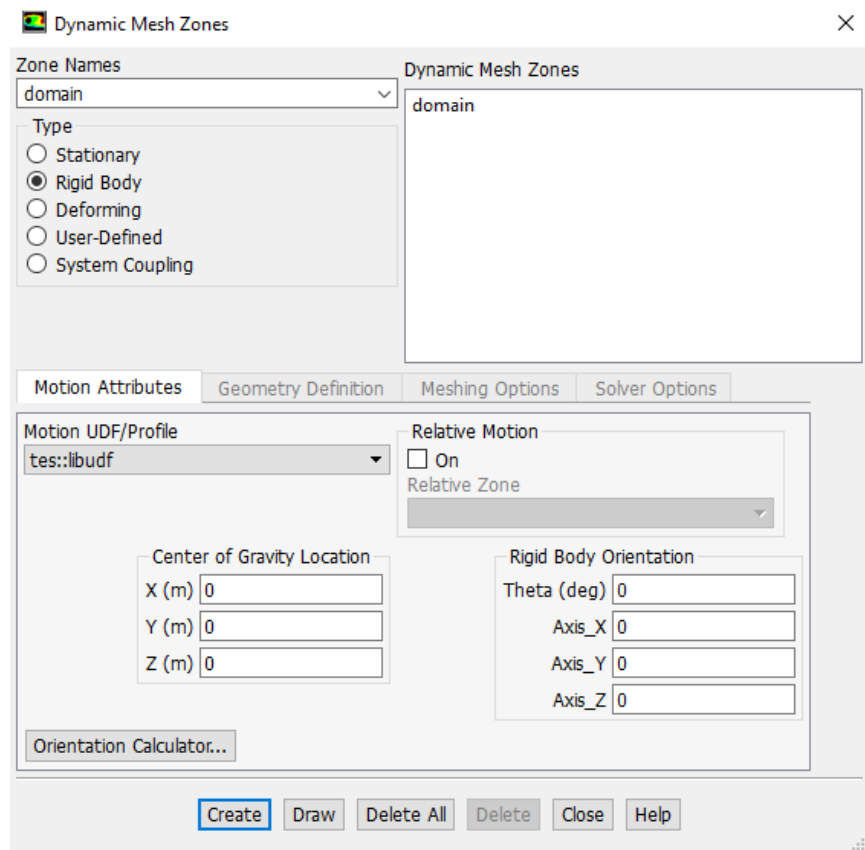
Fungsi yang digunakan untuk dapat menggerakkan dari domain fluida merupakan fungsi sinusoidal karena pergerakan dari domain fluida merupakan dalam bentuk sinusoidal rotasi yang bergantung pada waktu. *Compiler* diperlukan untuk dapat mengkomunikasikan *UDF* dengan *Fluent*. *Compiler* yang digunakan pada simulasi ini adalah dengan menggunakan *Microsoft Visual Studio 2017*



Gambar 3. 20 Compeling UDF

File yang digunakan berkeestensi .cpp atau bisa juga .c. Ekstensi tersebut dibuat dengan menggunakan software notepad yang selanjutnya disimpan sebagai program C. Langkah selanjutnya adalah memanggil file

UDF dalam library. Pengguna perlu mengklik build untuk dihasilkan program yang dapat dibaca oleh Fluent. Detail dari bahasa C yang ditulis dapat dilihat pada sub bab 3.3.7 mengenai *user defined function*. Digunakan *dynamic mesh* untuk dapat menggerakkan fluid domain pada simulasi sloshing.



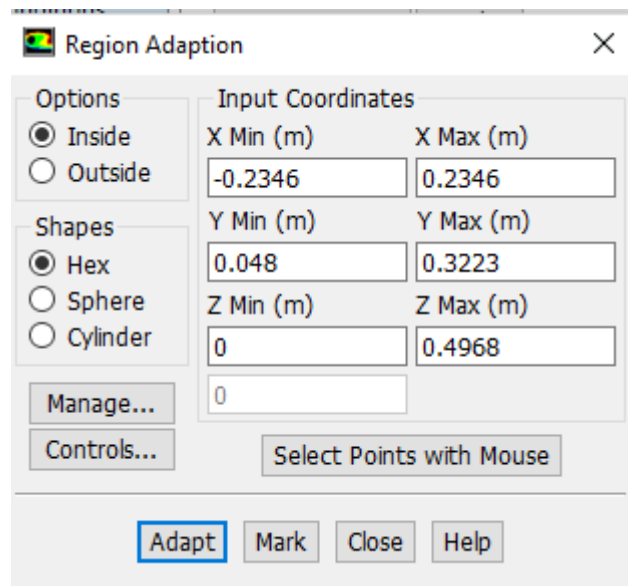
Gambar 3. 21 Metode Dynamic Mesh

Dynamic Mesh adalah metode untuk merubah posisi ataupun bentuk meshing berdasarkan fungsi waktu. Meshing yang dilakukan dalam penelitian ini didefinisikan sebagai rigid body. Terdapat beberapa metode diantaranya adalah smoothing, layering dan remeshing. Penelitian ini menggunakan metode smoothing dan layering. Metode smoothing adalah metode dynamic mesh dengan melakukan pergerakan meshing tanpa mengubah jumlah konektivitas serta jumlah elemen yang berada pada domain fluida tersebut, sedangkan metode layering adalah metode pengubahan meshing dengan mendefinisikan kembali meshing dengan cara mengubah dimensi tinggi tiap elemen berdasarkan lokasi setiap elemen tersebut.

Penelitian ini tidak melakukan pengubahan meshing dengan remeshing. Metode ini adalah metode untuk mengubah mesh dengan membuat meshing dari awal sehingga memerlukan waktu yang cukup lama. Selain itu metode ini efektif digunakan ketika boundary dari model berubah-ubah menurut waktu, sedangkan pada penelitian ini boundary dari model yang disimulasikan adalah tetap.

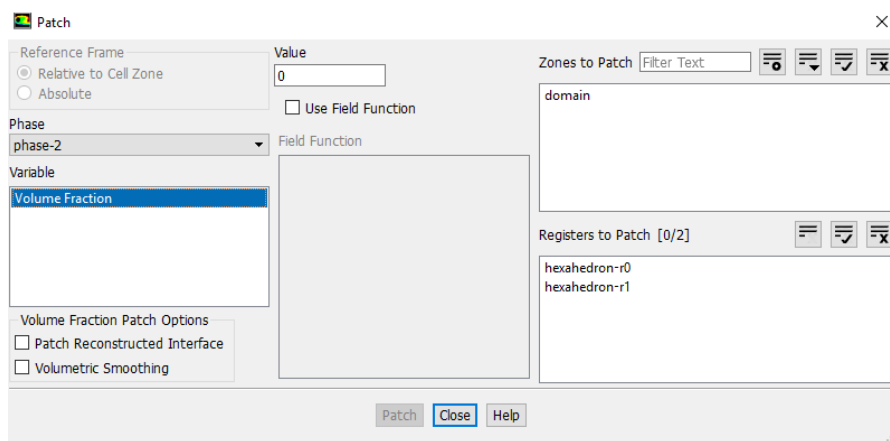
3.5.4 Solution

Pada proses ini dilakukan proses ini initialization dengan memilih metode hybrid dan kemudian dicek pada fitur initialization, setelah terpenuhi maka selanjutnya mengatur region adaption.



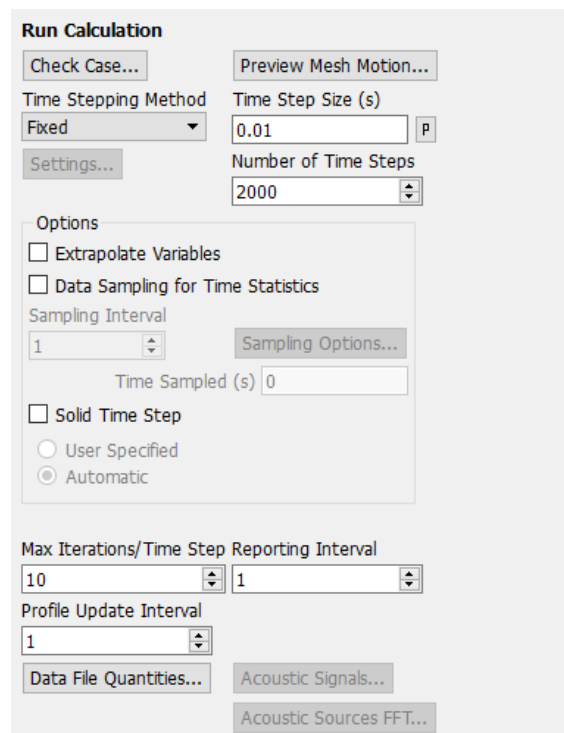
Gambar 3. 22 Region Adaption

Pendefinisian ketinggian dari fluida digunakan fitur *region adaption*. Fitur ini dapat menandai beberapa cell sekaligus untuk didefinisikan karakteristiknya. Terdapat beberapa pilihan dalam mendefinisikan dengan menggunakan fitur ini. Caranya input coordinates diisi dengan batas-batas ukuran lebar, tinggi, panjang tangki yang kita buat simulasi sesuai dengan variasi *filling level* yang dilakukan. Misalnya pada *filling level 15%* maka nilai Y akan berubah dari $Y_{min} = 0$ m dan $Y_{max} = 0.048$ m kemudian di *mark*, menjadi $Y_{min} = 0.048$ m dan $Y_{max} = 0.3223$ m selanjutnya di *mark*.



Gambar 3. 23 *Set Up Patching*

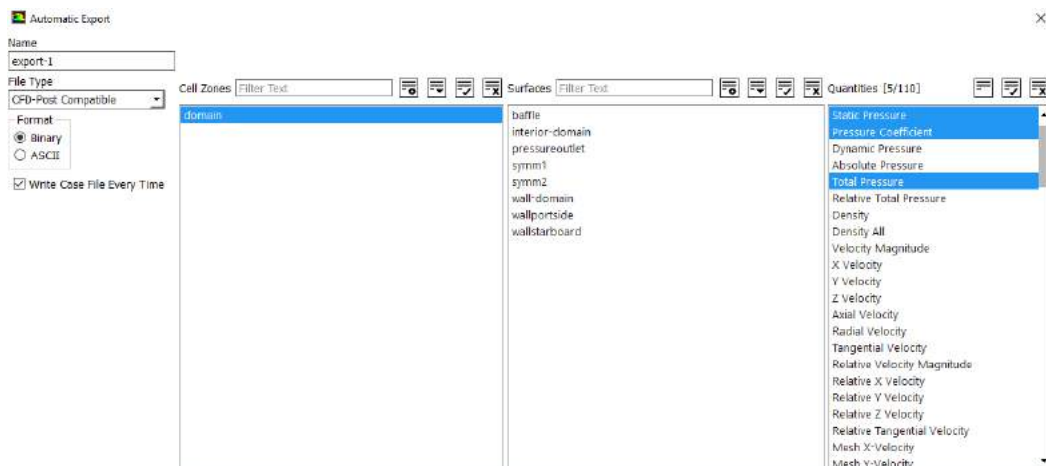
Cara sama digunakan untuk mendefinisikan lokasi fase udara, hanya saja koordinat lokasi dari udara yang berubah berdasarkan koordinatnya. Dasarnya pada penjelasan sub bab 3.5.3 Set Up pada pembahasan multiphase dari penelitian (Burrow, 2016). Perlu dilakukan *patching* pada region setelah melakukan pendefinisian region. . *Hexahedronr0* merupakan bagian dari air sehingga value yang diinputkan adalah 1, sedangkan untuk bagian *hexahedron-r1* merupakan bagian dari udara sehingga value yang diinputkan adalah 0.



Gambar 3. 24 *Time Step Definition*

Pada proses ini dilakukan running program simulasi pada number *time step* (2000) dan *timesteps* (0.01 s) dengan 10 jumlah iterasi yang digunakan. Proses pengaturan ini berdasarkan literature yang sudah ada. Menurut (Burrow, 2016) sloshing akan mengalami sifat steady pada waktu sekitar 20 detik. Jadi untuk waktu simulasi yang digunakan adalah 20 detik.

Perhitungan dengan menggunakan software Fluent adalah berbasis iterasi, artinya perhitungan aliran akan diulang sampai memenuhi kriteria tertentu. Penentuan dari berapa banyak iterasi yang digunakan adalah dengan melihat grafik dari residual. Grafik residual akan menampilkan variabel-variabel yang digunakan oleh Fluent.

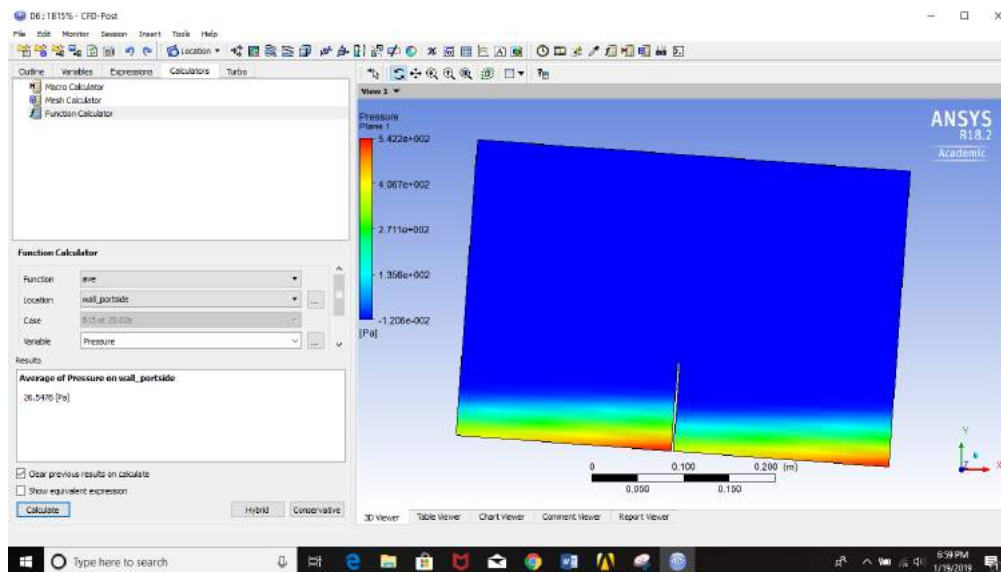


Gambar 3. 25 Set Up Automatic Report

Export untuk variabel yang ingin dianalisis perlu dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mencari nilai pressure yang terjadi maka dipilihlah *static pressure*, *dynamic pressure*, *total pressure*, *volume friction (phase 1 dan 2)* untuk bagian exportnya. Format yang dipilih adalah berupa CFD-Post Compatible. Hal ini dilakukan agar pembacaan data pressure pada struktur dapat dilakukan dengan mudah.

3.5.5 Results

Pada proses akhir ini, Hasil yang didapatkan dari analisis sloshing diantaranya adalah berupa animasi gerakan rolling. Gerakan inilah yang akan menggerakkan fluida yang berada pada fluid domain, selain itu didapatkan nilai pressure yang diambil yaitu *total pressure*, *static pressure* dan *dynamic pressure* pada bagian bawah (*ground/bottom*) atau *baffle*, bagian kanan kapal (*starboard wall*) dan bagian kiri kapal (*portside wall*).



Gambar 3.26 Hasil Simulasi Tangki Pada CFD Ansys Fluent

3.6 Validasi

Setiap data yang telah didapatkan dari hasil simulasi numerik dengan menggunakan program CFD harus dilakukan validasi data. Terdapat tiga parameter utama pada tahap validasi data yaitu :

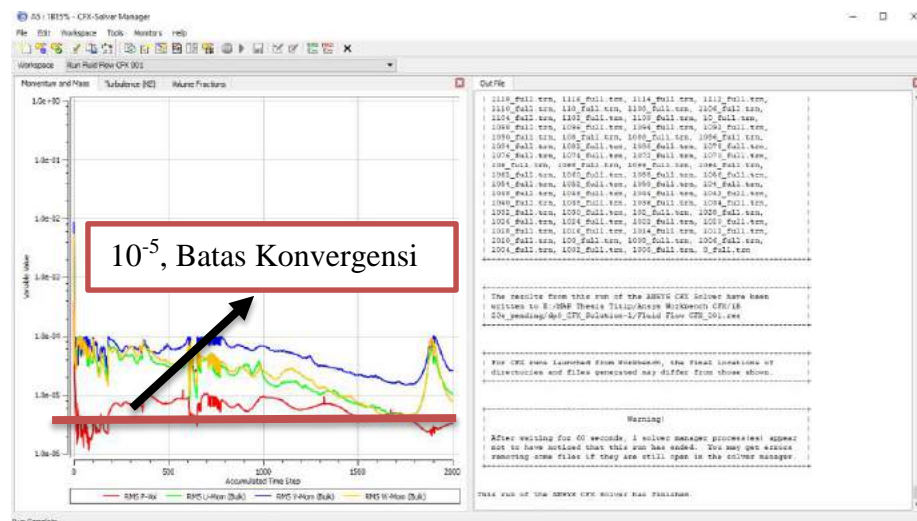
- Convergence*
- Grid Independence*
- Verifikasi dengan data hasil eksperimen.

Validasi dengan menggunakan *grid independence* dan *convergence* akan dibahas selanjutnya. Kemudian verifikasi hasil simulasi numerik dibandingkan dengan hasil pengujian tangki . Hasil yang diperoleh harus memiliki trend yang sama sehingga data yang didapat dapat dikatakan valid atau memenuhi akan dibahas pada bab selanjutnya.

3.6.1 Convergence

Konvergensi didefinisikan sebagai penentuan jumlah iterasi dan batas *Root Mean Square (RMS)* sebelum perhitungan dengan CFD dilakukan. Langkah ini dilakukan pada tahap *flow solver* yang merupakan tahap penentuan berbagai kondisi batas yang harus diterapkan sebelum proses simulasi dilakukan. Jumlah iterasi yang digunakan berpengaruh terhadap jumlah waktu yang dibutuhkan untuk proses simulasi. Semakin banyak jumlah iterasi yang diterapkan maka waktu yang dibutuhkan juga akan semakin banyak untuk proses simulasi. Jumlah iterasi yang dibutuhkan berbanding lurus dengan jumlah total elemen yang digunakan pada proses pemodelan. Semakin banyak jumlah total elemen/grid yang digunakan maka jumlah iterasi yang dibutuhkan juga akan semakin banyak.

Berhentinya proses iterasi dapat disebabkan oleh beberapa hal yaitu proses iterasi telah mencapai batas dari jumlah iterasi yang telah ditentukan dan proses iterasi telah mencapai batas konvergensi yang ditentukan. Besarnya nilai yang digunakan sebagai batas konvergensi atau batas *root mean square* yang banyak digunakan pada penelitian terkait dengan perilaku fluida adalah sebesar 10^{-5} . Nilai ini merupakan nilai konvergensi terbaik dan telah banyak digunakan pada berbagai perhitungan aplikasi teknik (Ansys, 2007; Dinham dkk., 2008). Berdasarkan literature maka batas konvergensi yang digunakan dalam proses iterasi adalah 10^{-5}

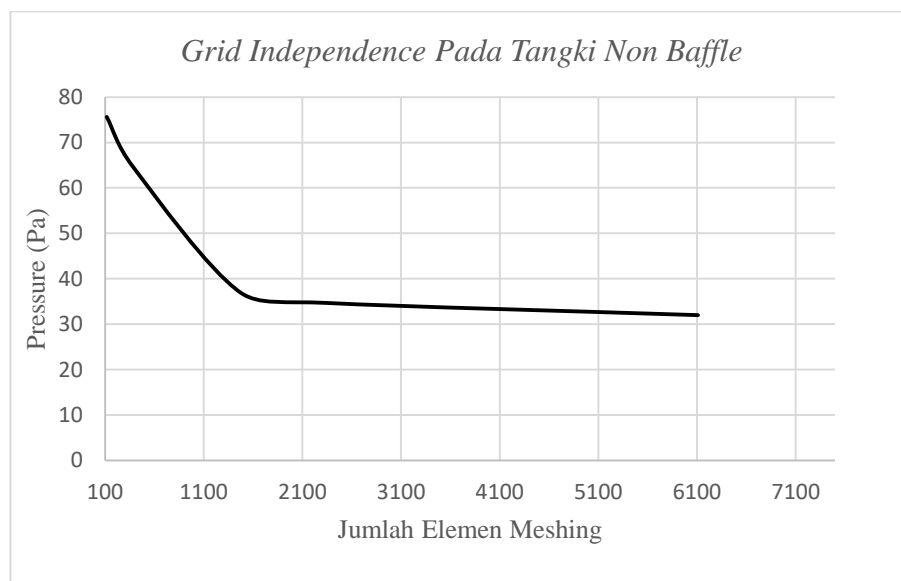


Gambar 3.27 Grafik Batas Konvergensi

3.6.2 Grid Independence

Kualitas atau jumlah *mesh grid* merupakan hal mendasar untuk *convergency* dan keakurasian simulasi/komputasi CFD. Kualitas dan nilai *grid* didiskusikan secara detail oleh Deng dkk (2010). Pada proses ini dicari model tangki kotak adalah cukup optimal dan akurat, dimana jumlah elemen yang digunakan pada komputasi menunjukkan bahwa kondisi yang ‘*grid independence*’ sehingga dipilih dalam CFD karena telah memenuhi tingkat keakurasian yang cukup baik dan selanjutnya bisa digunakan untuk proses analisis selanjutnya.

Pada ITTC – *recommended procedures and guidelines* tahun 2014 revisi 05 sub bab 2.5.3 perkiraan error hidrodinamika yang terjadi bukan angka yang tepat tetapi menjadi angka nominal perkiraan $\pm 5\%$ atau 10% dibandingkan dengan hasil dari komunitas masyarakat CFD 2% , tentunya ada resiko kesalahan yang diambil yang akan berdampak pada output hasil. Namun selama proses simulasi *CFD Ansys Fluent* pada semua *filling level* yang sudah dilakukan mengalami konvergen.

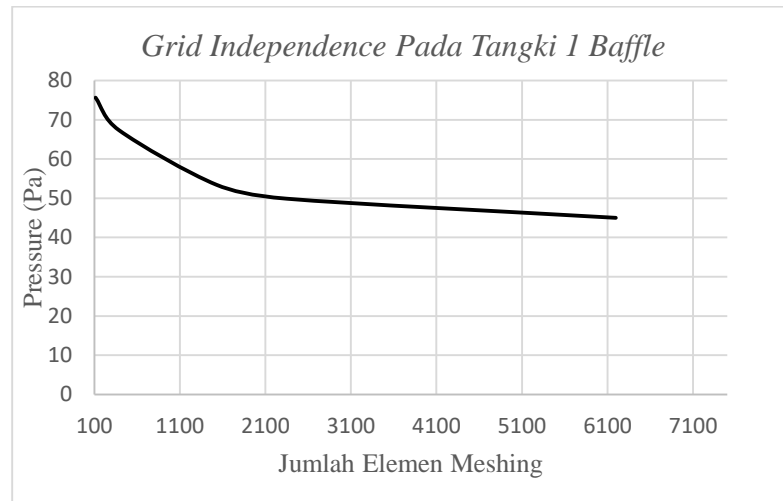


Gambar 3.28 *Grid Independence* pada Tangki Non Baffle

Tabel 3.7 *Grid Independence* pada Tangki Non Baffle

Size Meshing (m)	0.03	0.02	0.01	0.008	0.005
Jumlah Elemen Meshing	117	384	1472	2360	6110
Pressure (Pa)	75.63	64.62	36.96	34.65	31.98

Dari gambar 3.28 dan tabel 3.8 bahwa *grid independecnce* terjadi pada face side meshing 0.01 m pada jumlah elemen 1472 dengan *grid independence* sebesar 6.25%.

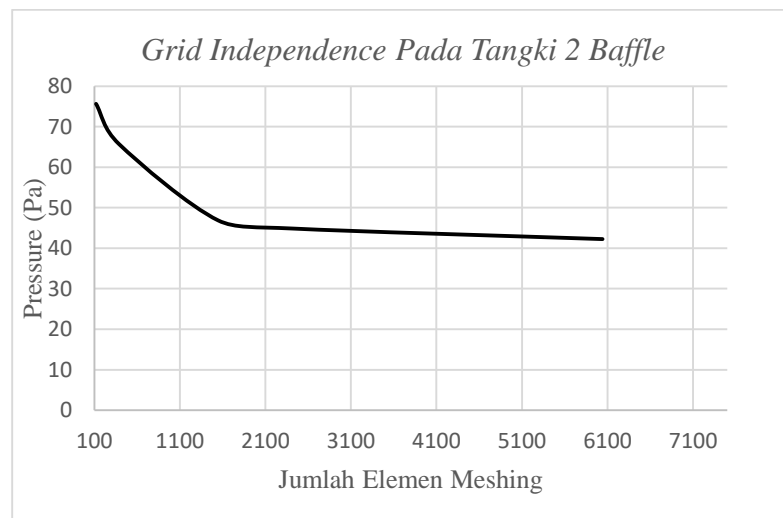


Gambar 3. 29 Grid Independence pada Tangki 1 Baffle

Tabel 3.8 Grid Independence pada Tangki 1 Baffle

Size Meshing (m)	0.03	0.02	0.01	0.008	0.005
Jumlah Elemen Meshing	114	388	1528	2348	6197
Pressure (Pa)	75.63	67.34	53.43	49.89	45.01

Dari gambar 3.29 dan tabel 3.9 bahwa *grid independecnce* terjadi pada face side meshing 0.01 m pada jumlah elemen 1528 dengan *grid independence* sebesar 6.63%.



Gambar 3. 30 Grid Independence pada Tangki 2 Baffle

Tabel 3.9 Grid Independence pada Tangki 2 Baffle

Size Meshing (m)	0.03	0.02	0.01	0.008	0.005
Jumlah Elemen Meshing	120	390	1548	2416	6042
Pressure (Pa)	75.63	65.67	46.86	44.86	42.25

Dari gambar 3.30 dan tabel 3.10 bahwa *grid independence* terjadi pada face side meshing 0.01 m pada jumlah elemen 1548 dengan *grid independence* sebesar 4.27%.

Pada penelitian ini *grid independence* yang dihasilkan sebesar 4.27% - 6.63%, hal ini harusnya mengacu *grid independence* pada komunitas masyarakat CFD yaitu 2%, namun banyak hal yang mempengaruhi proses *meshing* untuk mencapai *grid independence*, seperti spesifikasi komputer yang digunakan kurang mendukung, jumlah elemen meshing kurang banyak, ukuran meshing yang mungkin kurang kecil dan waktu running mungkin kurang lama, hal itu menjadi catatan pada proses *meshing* untuk mencapai *grid independence* pada penelitian ini.

3.7 Variasi Permodelan *Filling Level* Tangki

Pada tahap ini setelah mendapatkan hasil *grid independence* yang optimum maka dilakukan analisa permodelan dengan variasi *Filling level* tangki yaitu 15%, 30% dan 90% untuk model tangka tanpa baffle, dengan menggunakan 1 baffle dan menggunakan 2 baffle. Hasil yang akan diambil adalah *total pressure* (*static pressure* dan *dynamic pressure*) pada bagian bawah (*ground/bottom*) atau baffle, bagian kanan kapal (*wall starboard*) dan bagian kiri kapal (*wall portside*).

Tabel 3.10 Variasi Permodelan *Filling Level* Tangki

No	Permodelan	<i>Filling Level</i>
1	Non Baffle	15%
		30%
		90%
2	1 Baffle	15%
		30%
		90%
3	2 Baffle	15%
		30%
		90%

BAB IV

EKSPERIMEN MODEL TANGKI

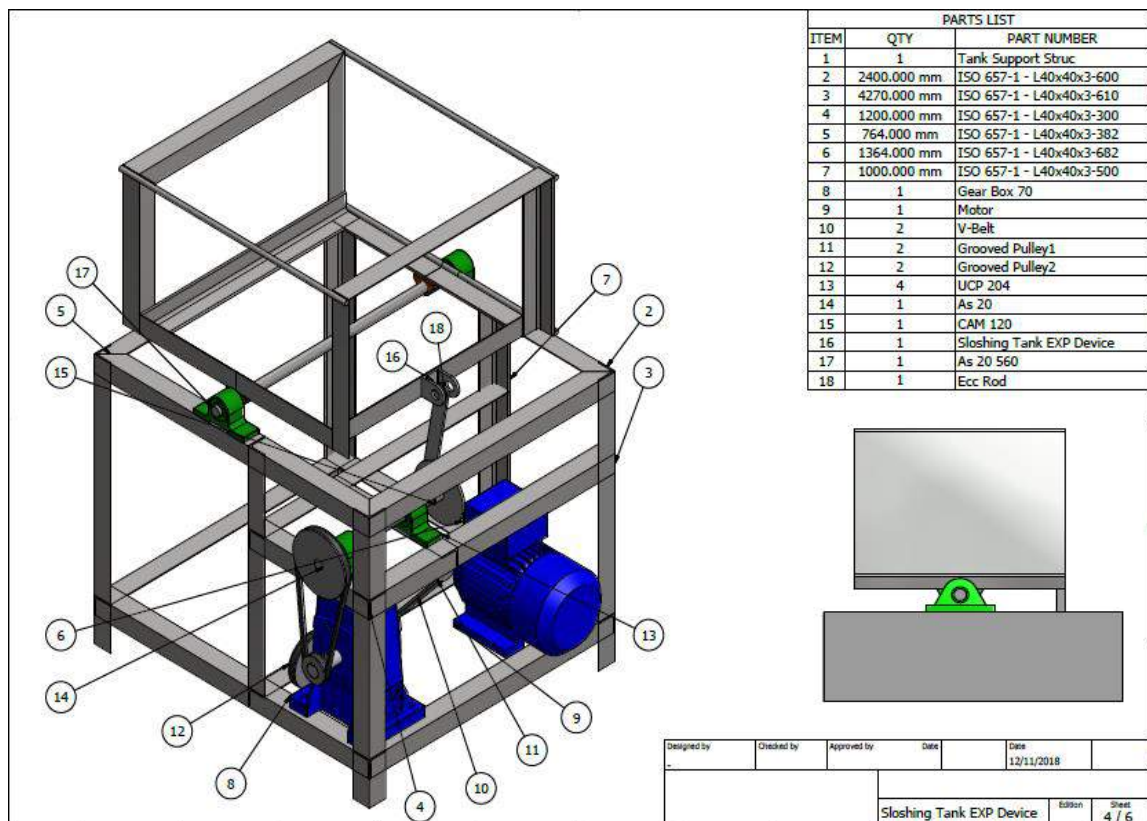
4.1 Pengujian Model Tangki Kotak

Pada tahapan ini dilakukan pengujian untuk tangki kotak uji di Bengkel CV Sinar Teknik Mandiri dengan ukuran yang sudah dibuat skala. Kemudian dilanjutkan pengujian dengan mengatur motor, *gearbox*, *pulley* dan *Vbelt* untuk mendapatkan RPM yang diinginkan.

Langkah-langkah yang dikerjakan sebagai berikut :

1. Pembuatan Design Tangki Kotak

Pada tahap ini, penulis membuat desain tangki uji dan dudukannya dengan menggunakan software inventor pada skala pengujian. Detail desain perlu dilakukan untuk mengetahui kebutuhan alat dan bahan yang diperlukann. Kemudian dilanjutkan dengan pembuatan tangki kotak akrilik di bengkel akrilik dan bengkel CV Sinar Teknik Mandiri.



Gambar 4. 1 Desain Tangki Pengujian

2. Pembelian Alat dan Bahan Tangki Kotak

Pada tahap ini, membuat list daftar beli alat dan bahan yang diperlukan sesuai dengan detail desain yang telah dibuat.

Tabel 4. 1 Alat dan Bahan Tangki Kotak

No	Nama	Dimension	Jumlah	Unit
1.	Tangki Akrilik	Ukuran (0.49 x 0.46 x 0.32) m Tebal : 5 mm	1	buah
2.	Motor AC	0,25 Hp, 1 phs, 220 V	1	buah
3.	Gearbox	1/60, Wpa	1	buah
4.	AS	1 m (D : 25 mm)	1	buah
5.	Ecentric	Dibuat dari plat (Sudut Tangki)	1	buah
6.	Siku / Angle Steel	6 m (30 x 30 x 3 mm)	3	buah
7.	Pillow Block	Type 204 VBJ	4	buah
8.	Pulley	A1 (D : 2.5, 5, 6 cm)	4	buah
9.	V Belt		2	buah

3. Pembuatan Tangki Kotak

Pada proses ini penulis membuat tangki kotak dengan dimensi (49.68 x 46.92 x 32.23) cm dengan tebal 5 mm menggunakan bahan akrilik dan dikerjakan di bengkel akrilik.



Gambar 4. 2 Tangki Kotak Pengujian

4. Pembuatan Kerangka Dudukan Tangki Kotak

Pada proses ini dibuatlah kerangka dudukan tangki kotak, dengan menggunakan bahan siku / angle steel ukuran (30 x 30 x 3) mm sesuai desain dudukan tangki pada detail tangki yang telah dibuat.



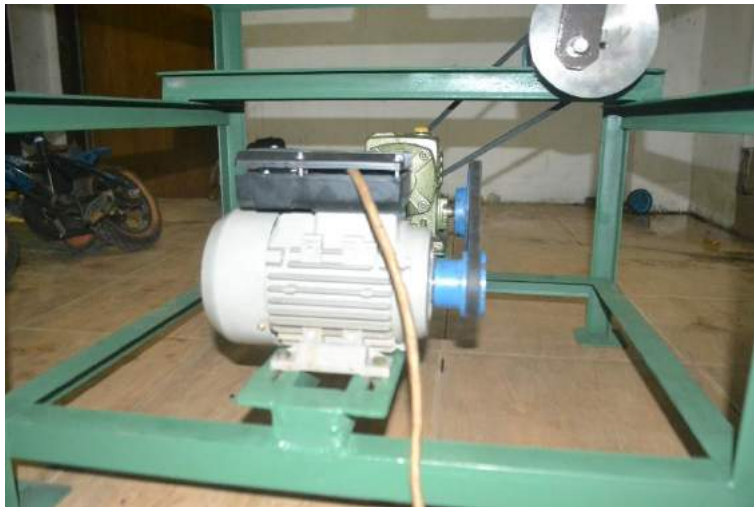
Gambar 4. 3 Kerangka Dudukan Tangki Kotak Pengujian

5. Pemasangan Motor, Gearbox dan Pulley

Pada proses ini penulis mensett up motor dan gearbox yang digunakan sesuai dengan frekuensi dan RPM yang ditentukan. Pada penelitian ini frekuensi yang digunakan sebesar 0.4233 rad/s, jika diubah ke RMP maka hasilnya adalah 4.12 ~ 5 RPM. Untuk spesifikasi motor digunakan motor AC yang ada foot dengan 1 phase, 220 V dan 1390 RPM. Kemudian untuk gearbox menggunakan type Wpa 1/60, untuk mendapatkan putaran 5 RPM maka diperlukan pulley untuk menurunkan putaran tersebut dengan perbandingan 5/2.5 dan 6/2.5, sehingga didapat RPM yang diinginkan.

Perhitungan RPM sebagai berikut :

Motor AC memiliki 1390 RPM, dibagi dengan gearbox 1/60 dihasilkan 23.16. Selanjutnya dibagi dengan penggunaan pulley 5/2.5 didapat 11.58 dan kemudian dibagi dengan penggunaan pulley 6/2.5 maka didapat RPM kurang lebih 5 RPM.



Gambar 4. 4 Pemasangan Motor, Gearbox dan Pulley

6. Pemasangan Esentric Pengujian

Pada proses ini penulis mengatur jarak lubang pada esentric. Jarak esentric diatur untuk mendapatkan sudut 5 derajat yang diinginkan dengan cara membuat lubang pada plat esentric kemudian dikaitkan dan diukur tinggi pengait tangki dengan esentric, sehingga didapat sudut yang diinginkan.



Gambar 4. 5 Pemasangan Esentric pada Tangki Kotak Pengujian

7. Pengujian Tangki Kotak

Dan langkah terakhir adalah proses pengujian. Pada proses ini diawal penulis menset up model pengujian dan banyaknya fluida air yang digunakan sesuai *filling level* 15%, 30% dan 90%. Setelah itu dilakukan proses pengujian sesuai dengan variasi yang diinginkan, dengan proses perekaman pengujian tersebut. Ketentuan pengujian tangki kotak :

1. Sebelum memulai pengujian dipastikan tangki dalam keadaan seimbang
2. Persiapkan alat-alat yang diperlukan seperti alat perekam (kamera atau handycam, tripod), stopwatch, ember dan gayung
3. Posisi alat perekam disetting sebaik mungkin ± 1 meter dari tangki pengujian atau ditempatkan sabaik mungkin agar terlihat gerakan gelombang air pada tangki
4. Pengisian fluida air sesuai dengan *filling level* yang sudah ditentukan
5. Persiapkan alat perekam dan stopwatch untuk memulai proses pengujian dengan dihubungkannya motor dan arus listrik
6. Rekam fenomena gelombang yang terjadi selama proses pengujian dan diatur waktunya selama min 20 s, kalau sudah kemudian dimatikan.
7. Lakukan percobaan pada *filling level* lainnya (15%, 30% dan 90%) serta penggunaan 1 *baffle*, 2 *baffle* dan *non baffle*



Gambar 4. 6 Proses Pengujian Tangki Kotak

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Analisa Hasil Pengujian Tangki Kotak

Pengujian tangka kotak dilakukan di bengkel CV Sinar Mandiri Teknik, Gedangan, Sidoarjo. Pada pengujian ini dilakukan variasi dengan variasi *filling level* fluida air yaitu 15%, 30% dan 90% untuk model tangki tanpa *baffle*, dengan menggunakan *1 baffle* dan menggunakan *2 baffle*. Maka berikut ini hasil dan analisa pengujiannya

5.1.1 *Non Baffle Filling level 15%*

Pada pengujian tangki kotak *non baffle filling level 15%* ini dipastikan fluida yang ada setinggi 15% dari tinggi tangki uji dan dilakukan pencatatan waktu untuk mengetahui duration time dan amplitudo gelombang fluida air yang dihasilkan.



Gambar 5. 1 Tangki Uji Non Baffle FL 15%, t :0 s



Gambar 5. 2 Tangki Uji Non Baffle FL 15%, t :3 s



Gambar 5. 3 Tangki Uji Non Baffle FL 15%, $t : 9$ s

Dari gambar 5.1, diketahui bahwa pada $t = 0$ s tangki posisi diam dan bentuk gelombang datar dan tenang. Pada gambar 5.2 dapat diketahui bahwa sudah terjadi gerakan rolling ke arah starboard wall, terlihat bentuk gelombang menekan ke arah starboard wall pada $t = 3$ s dan pada gambar 5.3 diketahui bahwa terjadi gerakan rolling lanjutan ke arah portside wall terlihat bentuk gelombang menekan ke arah portside wall pada $t = 9$ s

5.1.2 1 Baffle Filling level 15%

Pada pengujian tangki kotak 1 baffle filling level 15% ini dipastikan fluida yang ada setinggi 15% dari tinggi tangki uji dan dilakukan pencatatan waktu untuk mengetahui duration time dan amplitudo gelombang fluida air yang dihasilkan.



Gambar 5. 4 Tangki Uji 1 Baffle FL 15%, $t : 0$ s



Gambar 5. 5 Tangki Uji 1 Baffle FL 15%, $t : 3 \text{ s}$



Gambar 5. 6 Tangki Uji 1 Baffle FL 15%, $t : 9 \text{ s}$

Dari gambar 5.4, diketahui bahwa pada $t = 0 \text{ s}$ tangki posisi diam dan bentuk gelombang datar dan tenang yang terbagi menjadi 2 bagian. Pada gambar 5.5 dapat diketahui bahwa sudah terjadi gerakan rolling kearah starboard wall, terlihat bentuk gelombang satu bagian menekan ke arah starboard wall dan satu bagian bentuk gelombang menekan kearah *baffle* pada $t = 3 \text{ s}$ dan pada gambar 5.6 diketahui bahwa terjadi gerakan rolling lanjutan kearah portside wall, terlihat bentuk gelombang satu bagian menekan ke arah portside wall dan satu bagian bentuk gelombang menekan kearah *baffle* pada $t = 9 \text{ s}$

5.1.3 2 Baffle Filling level 15%

Pada pengujian tangki kotak 2 *baffle filling level 15%* ini dipastikan fluida yang ada setinggi 15% dari tinggi tangki uji dan dilakukan pencatatan waktu untuk mengetahui duration time dan amplitudo gelombang fluida air yang dihasilkan.



Gambar 5. 7 Tangki Uji 2 Baffle FL 15%, t :0 s



Gambar 5. 8 Tangki Uji 2 Baffle FL 15%, t :3 s



Gambar 5. 9 Tangki Uji 2 Baffle FL 15%, $t : 9 \text{ s}$

Dari gambar 5.7, diketahui bahwa pada $t = 0 \text{ s}$ tangki posisi diam dan bentuk gelombang datar dan tenang yang terbagi menjadi 3 bagian. Pada gambar 5.8 dapat diketahui bahwa sudah terjadi gerakan rolling kearah starboard wall, terlihat bentuk gelombang satu bagian menekan ke arah starboard wall dan dua bagian bentuk gelombang menekan kearah *baffle* pada $t = 3 \text{ s}$ dan pada gambar 5.9 diketahui bahwa terjadi gerakan rolling lanjutan kearah portside wall, terlihat bentuk gelombang satu bagian menekan ke arah portside wall dan dua bagian bentuk gelombang menekan kearah *baffle* pada $t = 9 \text{ s}$

5.1.4 *Non Baffle Filling level 30%*

Pada pengujian tangki kotak *non baffle filling level 30%* ini dipastikan fluida yang ada setinggi 30% dari tinggi tangki uji dan dilakukan pencatatan waktu untuk mengetahui duration time dan amplitudo gelombang fluida air yang dihasilkan.



Gambar 5. 10 Tangki Uji *Non Baffle FL 30%*, $t : 0 \text{ s}$



Gambar 5. 11 Tangki Uji Non Baffle FL 30%, $t : 3$ s



Gambar 5. 12 Tangki Uji Non Baffle FL 30%, $t : 9$ s

Dari gambar 5.10, diketahui bahwa pada $t = 0$ s tangki posisi diam dan bentuk gelombang datar dan tenang. Pada gambar 5.11 dapat diketahui bahwa sudah terjadi gerakan rolling ke arah starboard wall, terlihat bentuk gelombang menekan ke arah starboard wall pada $t = 3$ s dan pada gambar 5.12 diketahui bahwa terjadi gerakan rolling lanjutan ke arah portside wall terlihat bentuk gelombang menekan ke arah portside wall pada $t = 9$ s

5.1.5 1 Baffle Filling level 30%

Pada pengujian tangki kotak 1 baffle filling level 30% ini dipastikan fluida yang ada setinggi 30% dari tinggi tangki uji dan dilakukan pencatatan waktu untuk mengetahui duration time dan amplitudo gelombang fluida air yang dihasilkan.



Gambar 5. 13 Tangki Uji 1 *Baffle FL* 30%, $t : 0$ s



Gambar 5. 14 Tangki Uji 1 *Baffle FL* 30%, $t : 3$ s



Gambar 5. 15 Tangki Uji 1 *Baffle FL* 30%, $t : 9$ s

Dari gambar 5.13, diketahui bahwa pada $t = 0$ s tangki posisi diam dan bentuk gelombang datar dan tenang yang terbagi menjadi 2 bagian. Pada gambar 5.14 dapat diketahui bahwa sudah terjadi gerakan rolling kearah starboard wall, terlihat bentuk gelombang satu bagian menekan ke arah starboard wall dan satu bagian bentuk gelombang menekan kearah *baffle* pada $t = 3$ s dan pada gambar 5.15 diketahui bahwa terjadi gerakan rolling lanjutan kearah portside wall, terlihat bentuk gelombang satu bagian menekan ke arah portside wall dan satu bagian bentuk gelombang menekan kearah *baffle* pada $t = 9$ s

5.1.6 2 Baffle Filling level 30%

Pada pengujian tangki kotak 2 *baffle filling level 30%* ini dipastikan fluida yang ada setinggi 30% dari tinggi tangki uji dan dilakukan pencatatan waktu untuk mengetahui duration time dan amplitudo gelombang fluida air yang dihasilkan.



Gambar 5. 16 Tangki Uji 2 Baffle FL 30%, $t : 0$ s



Gambar 5. 17 Tangki Uji 2 Baffle FL 30%, $t : 3$ s



Gambar 5. 18 Tangki Uji 2 Baffle FL 30%, $t : 9 \text{ s}$

Dari gambar 5.16, diketahui bahwa pada $t = 0 \text{ s}$ tangki posisi diam dan bentuk gelombang datar dan tenang yang terbagi menjadi 3 bagian. Pada gambar 5.17 dapat diketahui bahwa sudah terjadi gerakan rolling ke arah starboard wall, terlihat bentuk gelombang satu bagian menekan ke arah starboard wall dan dua bagian bentuk gelombang menekan ke arah *baffle* pada $t = 3 \text{ s}$ dan pada gambar 5.18 diketahui bahwa terjadi gerakan rolling lanjutan ke arah portside wall, terlihat bentuk gelombang satu bagian menekan ke arah portside wall dan dua bagian bentuk gelombang menekan ke arah *baffle* pada $t = 9 \text{ s}$

5.1.7 *Non Baffle Filling level 90%*

Pada pengujian tangki kotak *non baffle filling level 90%* ini dipastikan fluida yang ada setinggi 90% dari tinggi tangki uji dan dilakukan pencatatan waktu untuk mengetahui duration time dan amplitudo gelombang fluida air yang dihasilkan.



Gambar 5. 19 Tangki Uji Non Baffle FL 90%, $t : 0 \text{ s}$



Gambar 5. 20 Tangki Uji Non Baffle FL 90%, $t : 3 \text{ s}$



Gambar 5. 21 Tangki Uji Non Baffle FL 90%, $t : 9 \text{ s}$

Dari gambar 5.19, diketahui bahwa pada $t = 0 \text{ s}$ tangki posisi diam dan bentuk gelombang datar dan tenang. Pada gambar 5.20 dapat diketahui bahwa sudah terjadi gerakan rolling kearah starboard wall, terlihat bentuk gelombang menekan ke arah starboard wall pada $t = 3 \text{ s}$ namun fluida air belum sampai tumpah keatas dan pada gambar 5.21 diketahui bahwa terjadi gerakan rolling lanjutan kearah portside wall terlihat bentuk gelombang menekan ke arah portside wall pada $t = 9 \text{ s}$ fluida air belum sampai tumpah keatas.

5.1.8 1 Baffle Filling level 90%

Pada pengujian tangki kotak 1 baffle filling level 90% ini dipastikan fluida yang ada setinggi 90% dari tinggi tangki uji dan dilakukan pencatatan waktu untuk mengetahui duration time dan amplitudo gelombang fluida air yang dihasilkan.



Gambar 5. 22 Tangki Uji 1 Baffle FL 90%, t :0 s



Gambar 5. 23 Tangki Uji 1 Baffle FL 90%, t :3 s



Gambar 5. 24 Tangki Uji 1 Baffle FL 90%, t :9 s

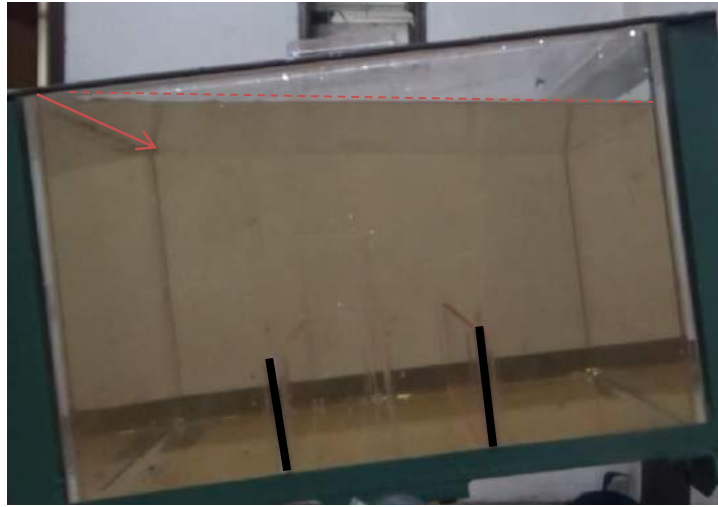
Dari gambar 5.22, diketahui bahwa pada $t = 0$ s tangki posisi diam dan bentuk gelombang datar dan tenang yang terbagi menjadi 2 bagian. Pada gambar 5.23 dapat diketahui bahwa sudah terjadi gerakan rolling kearah starboard wall, terlihat bentuk gelombang satu bagian menekan ke arah starboard wall dan satu bagian bentuk gelombang menekan kearah *baffle* pada $t = 3$ s namun fluida air sudah sampai tumpah keatas dikarenakan ada penutup tangki maka tumpahan arahnya berbalik dan pada gambar 5.24 diketahui bahwa terjadi gerakan rolling lanjutan kearah portside wall, terlihat bentuk gelombang satu bagian menekan ke arah portside wall dan satu bagian bentuk gelombang menekan kearah *baffle* pada $t = 9$ s namun fluida air belum sampai tumpah keatas

5.1.9 2 Baffle Filling level 90%

Pada pengujian tangki kotak 2 *baffle filling level 90%* ini dipastikan fluida yang ada setinggi 90% dari tinggi tangki uji dan dilakukan pencatatan waktu untuk mengetahui duration time dan amplitudo gelombang fluida air yang dihasilkan.



Gambar 5. 25 Tangki Uji 2 Baffle FL 90%, $t : 0$ s



Gambar 5. 26 Tangki Uji 2 Baffle FL 90%, $t : 3 \text{ s}$



Gambar 5. 27 Tangki Uji 2 Baffle FL 90%, $t : 9 \text{ s}$

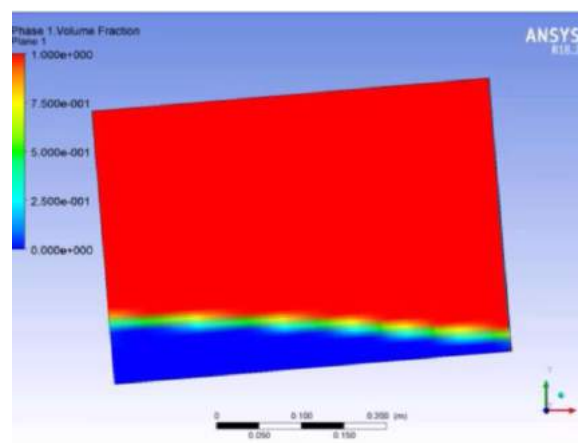
Dari gambar 5.25, diketahui bahwa pada $t = 0 \text{ s}$ tangki posisi diam dan bentuk gelombang datar dan tenang yang terbagi menjadi 3 bagian. Pada gambar 5.26 dapat diketahui bahwa sudah terjadi gerakan rolling ke arah starboard wall, terlihat bentuk gelombang satu bagian menekan ke arah starboard wall dan dua bagian bentuk gelombang menekan ke arah *baffle* pada $t = 3 \text{ s}$ namun fluida air sudah sampai tumpah keatas dikarenakan ada penutup tangki maka tumpahan arahnya berbalik dan pada gambar 5.27 diketahui bahwa terjadi gerakan rolling lanjutan ke arah portside wall, terlihat bentuk gelombang satu bagian menekan ke arah portside wall dan dua bagian bentuk gelombang menekan ke arah *baffle* pada $t = 9 \text{ s}$ namun fluida air belum sampai tumpah keatas.

5.2 Validasi Hasil Simulasi dengan Pengujian

Validasi dengan menggunakan *grid independence* dan *convergence* sudah dibahas pada sub bab 3.6. Kemudian selanjutnya adalah melakukan validasi data simulasi numerik CFD Ansys Fluent dengan data hasil eksperimen. Hasil yang diperoleh harus memiliki trend yang sama sehingga data yang didapat dapat dikatakan valid atau memenuhi. Pada tangki *non baffle*, diketahui bersama bahwa untuk validasi ini diset up pada kondisi geometri (ukuran model tangki) yang sama, frekuensi yang sama (0.42 rad/s), RPM yang sama (5 RPM) dan amplitudo yang sama.

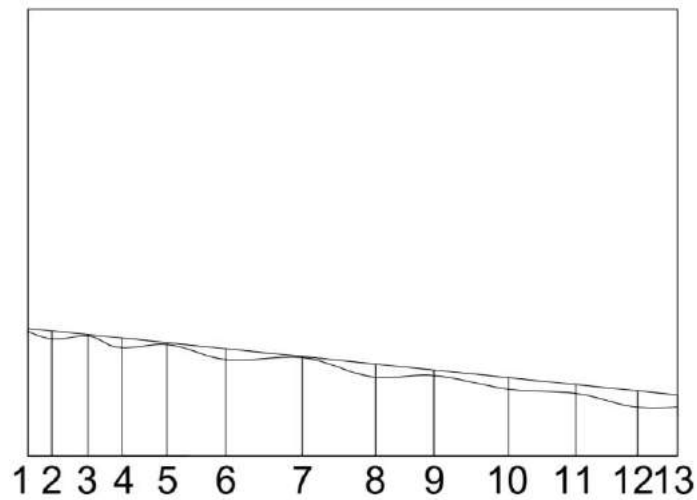


Gambar 5. 28 Hasil Uji Tangki Kotak NB FL 15% t : 3 s



Gambar 5. 29 Hasil Simulasi Tangki Kotak NB FL 15%, t : 3 s

Selanjutnya dilakukan validasi hasil numerik CFD Ansys Fluent pada non baffle *filling level* 15% dengan hasil uji tangki kotak untuk mendapatkan hasil yang optimum dan valid. Dengan cara membuat plot dari hasil uji tangki maupun simulasi dengan membandingkan ukuran sebenarnya kemudian membagi plot menjadi 13 stasion, dan diukur ketinggian plot masing-masing baik hasil uji atau simulasi tangki.



Gambar 5. 30 Validasi Tangki *Non Baffle* pada *Filling Level* 15%

Tabel 5. 1 Hasil Validasi Tangki *Non Baffle* *Filling Level* 15%

No	Pengujian (cm)	Simulasi (cm)
1	9.20	8.97
2	9.03	8.44
3	8.48	8.67
4	8.50	7.81
5	8.17	8.04
6	7.74	6.95
7	7.17	7.09
8	6.60	5.67
9	6.20	5.79
10	5.65	4.81
11	5.15	4.51
12	4.69	3.52
13	4.40	3.52

Dari gambar 5.30 dan tabel 5.1 tersebut menggunakan rumus *root mean*

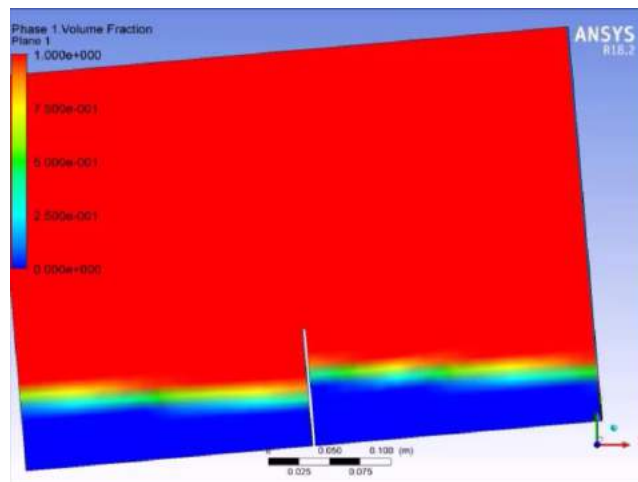
square error $RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{Uji,i} - X_{Simulasi,i})^2}{n}}$ maka akan

didapatkan hasil RMSE pada *tangki non baffle filling level* 15% sebesar 0.67, jika dibandingkan dengan perhitungan nilai standar deviasi (SD) yang hasilnya 0.698 maka ada selisih 0.03 yang artinya nilai error sangat kecil sehingga hasil perbandingan bisa dikatakan mendekati valid.

Pada tangki dengan penggunaan 1 *baffle*, diketahui bersama bahwa untuk validasi ini diset up pada kondisi geometri (ukuran model tangki) yang sama, frekuensi yang sama (0.42 rad/s), RPM yang sama (5 RPM) dan amplitudo yang sama.

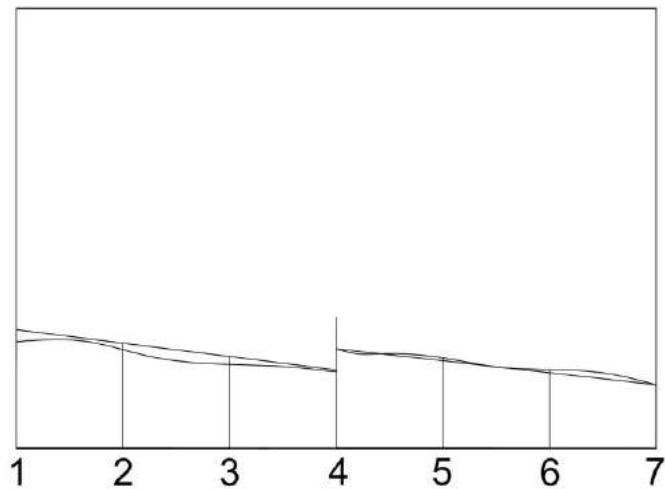


Gambar 5. 31 Hasil Uji Tangki Kotak 1B FL 15% t : 3 s



Gambar 5. 32 Hasil Simulasi Tangki Kotak 1B FL 15%, t : 3 s

Selanjutnya dilakukan validasi hasil numerik CFD Ansys Fluent pada 1 baffle *filling level* 15% dengan hasil uji tangki kotak untuk mendapatkan hasil yang optimum dan valid. Dengan cara membuat plot dari hasil uji tangki maupun simulasi dengan membandingkan ukuran sebenarnya kemudian membagi plot menjadi 7 stasion, dan diukur ketinggian plot masing-masing baik hasil uji atau simulasi tangki.



Gambar 5. 33 Validasi Tangki 1 *Baffle* pada *Filling Level* 15%

Tabel 5. 2 Hasil Validasi Tangki 1 *Baffle Filling Level* 15%

No	Pengujian (cm)	Simulasi (cm)
1	8.68	6.82
2	7.69	7.22
3	6.72	6.14
4.1	5.74	5.62
4.2	7.83	7.83
5	6.61	6.41
6	5.76	5.53
7	4.65	4.65

Dari gambar 5.33 dan tabel 5.2 tersebut menggunakan rumus *root mean*

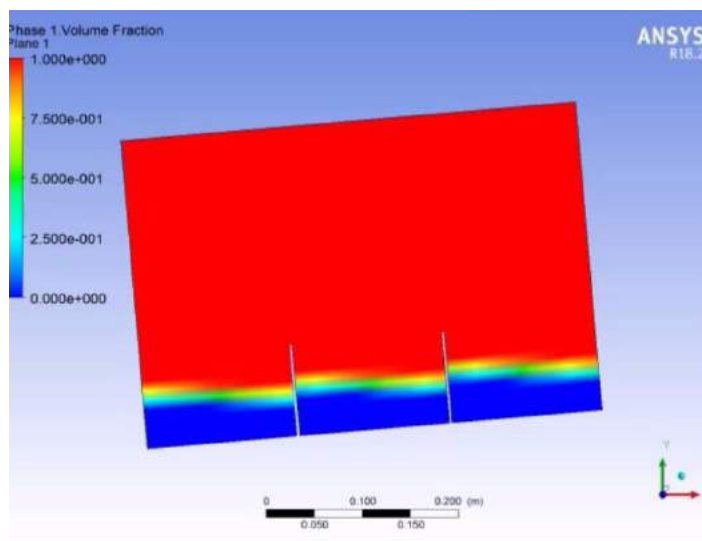
square error
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{Uji,i} - X_{Simulasi,i})^2}{n}}$$
 maka akan

didapatkan hasil RMSE pada *tangki 1 baffle filling level* 15% sebesar 0.72, jika dibandingkan dengan perhitungan nilai standar deviasi (SD) yang hasilnya 0.768 maka ada selisih 0.05 yang artinya nilai error sangat kecil sehingga hasil perbandingan bisa dikatakan mendekati valid.

Pada tangki dengan penggunaan 2 *baffle*, diketahui bersama bahwa untuk validasi ini diset up pada kondisi geometri (ukuran model tangki) yang sama, frekuensi yang sama (0.42 rad/s), RPM yang sama (5 RPM) dan amplitudo yang sama.

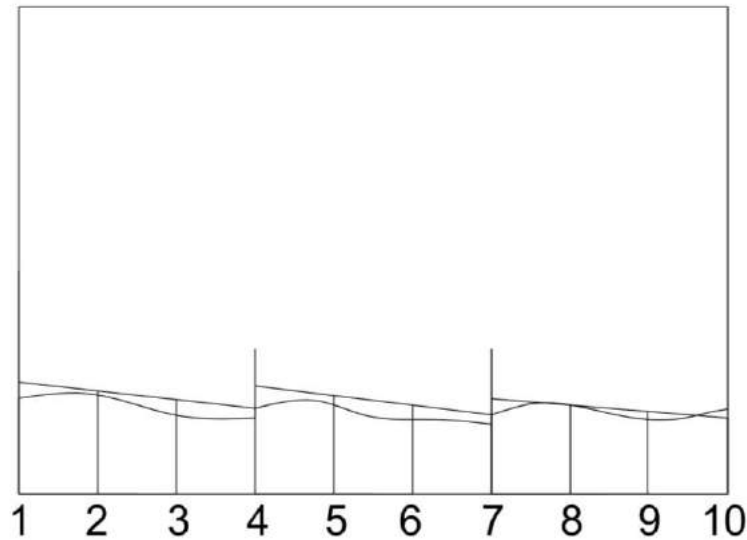


Gambar 5. 34 Hasil Uji Tangki Kotak 2B FL 15 t : 3s



Gambar 5. 35 Hasil Simulasi Tangki Kotak 2B FL 15%, t : 3 s

Selanjutnya dilakukan validasi hasil numerik CFD Ansys Fluent pada 2 baffle *filling level* 15% dengan hasil uji tangki kotak untuk mendapatkan hasil yang optimum dan valid. Dengan cara membuat plot dari hasil uji tangki maupun simulasi dengan membandingkan ukuran sebenarnya kemudian membagi plot menjadi 10 stasion, dan diukur ketinggian plot masing-masing baik hasil uji atau simulasi tangki.



Gambar 5. 36 Validasi Tangki 2 *Baffle* pada *Filling Level* 15%

Tabel 5. 3 Hasil Validasi Tangki 2 *Baffle Filling Level* 15%

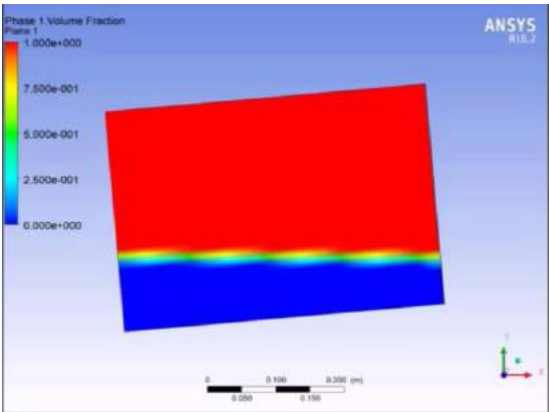
No	Pengujian (cm)	Simulasi (cm)
1	7.39	6.34
2	6.82	6.55
3	6.24	5.22
4.1	5.67	5.04
4.2	7.14	5.67
5	6.51	5.89
6	5.88	4.93
7.1	5.25	4.62
7.2	6.3	5.25
8	5.89	5.89
9	5.47	4.94
10	5.04	5.62

Dari gambar 5.36 dan tabel 5.3 tersebut menggunakan rumus *root mean*

square error $RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{Uji,i} - X_{Simulasi,i})^2}{n}}$ maka akan

didapatkan hasil RMSE pada *tangki 1 baffle filling level* 15% sebesar 0.83, jika dibandingkan dengan perhitungan nilai standar deviasi (SD) yang hasilnya 0.862 maka ada selisih 0.04 yang artinya nilai error sangat kecil sehingga hasil perbandingan bisa dikatakan mendekati valid.

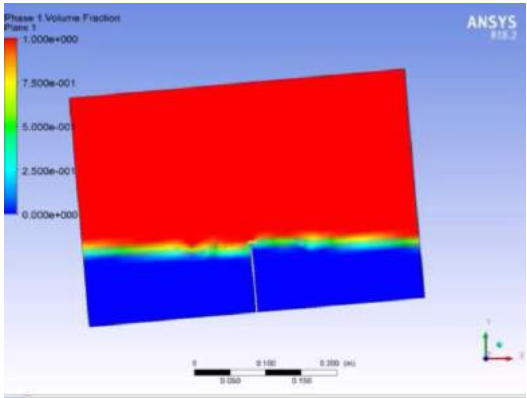
Tabel 5. 4 Validasi Tangki Kotak dengan Variasi *Filing Level*



Hasil Simulasi Tangki Kotak pada Non
Baffle Filling Level 30%



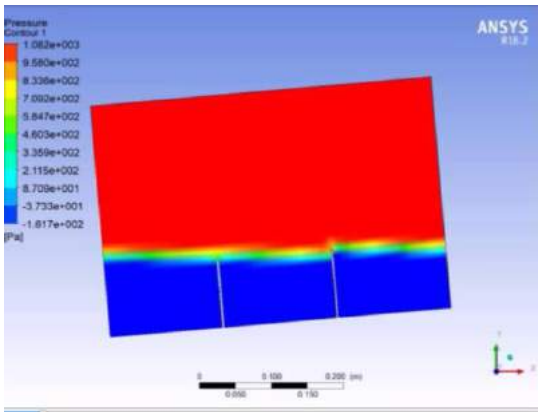
Hasil Pengujian Tangki Kotak pada Non
Baffle Filling Level 30%



Hasil Simulasi Tangki Kotak pada 1 *Baffle*
Filling Level 30%



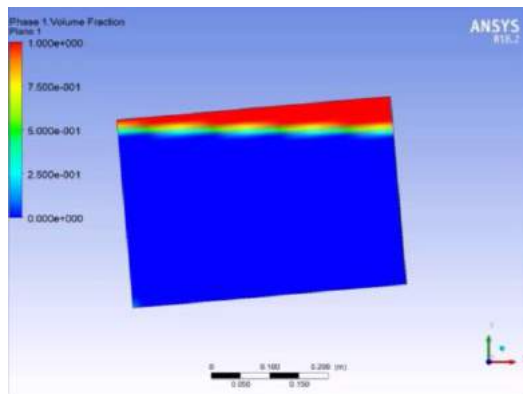
Hasil Pengujian Tangki Kotak pada 1 *Baffle*
Filling Level 30%



Hasil Simulasi Tangki Kotak pada 2 *Baffle*
Filling Level 30%



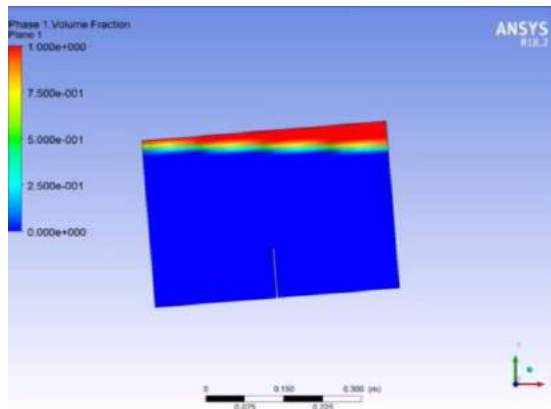
Hasil Pengujian Tangki Kotak pada 2 *Baffle*
Filling Level 30%



Hasil Simulasi Tangki Kotak pada Non
Baffle Filling Level 90%



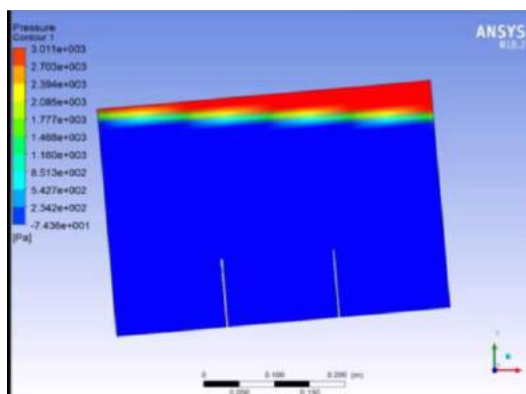
Hasil Pengujian Tangki Kotak pada Non
Baffle Filling Level 90%



Hasil Simulasi Tangki Kotak pada 1 *Baffle*
Filling Level 90%



Hasil Pengujian Tangki Kotak pada 1 *Baffle*
Filling Level 90%



Hasil Simulasi Tangki Kotak pada 2 *Baffle*
Filling Level 90%



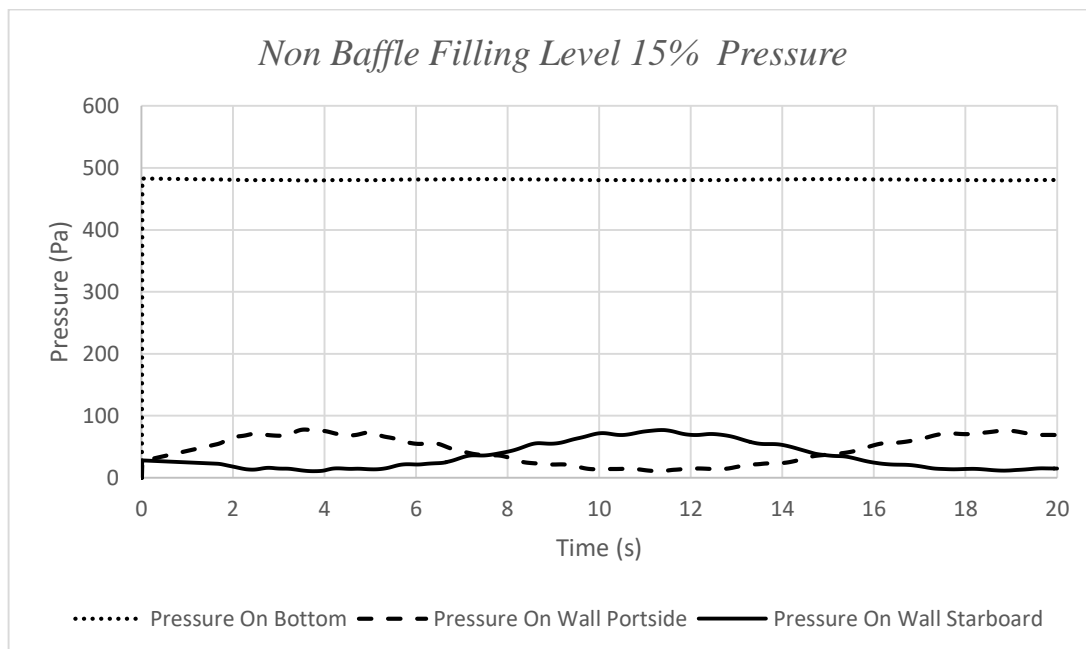
Hasil Pengujian Tangki Kotak pada 2 *Baffle*
Filling Level 90%

5.3 Analisa Hasil Variasi *Filling Level* pada Tangki

Pada tahap ini kita melakukan analisa terhadap hasil simulasi CFD Ansys Fluent yang menghasilkan total tekanan (*static pressure dan dynamic pressure*) pada *bottom* atau *baffle* dan dinding-dinding tangki (*wall portside* dan *wall starboard*).

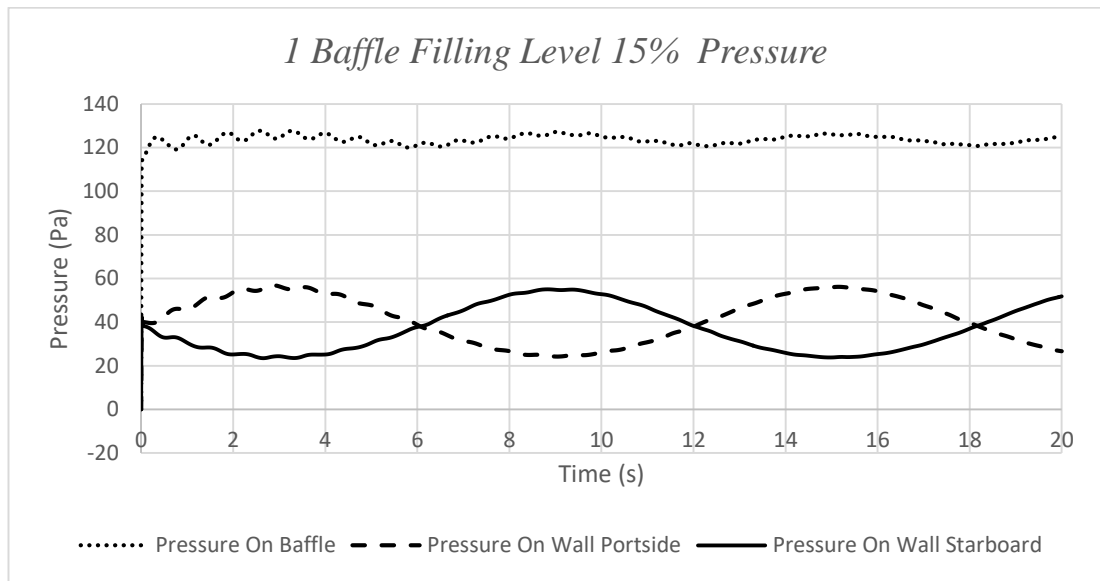
4.3.1 *Filling Level 15%*

Pada *filling level 15%* artinya fluida air lebih rendah dibandingkan tinggi *baffle*, setelah itu bisa dibandingkan hasil tekanan tangki dengan penggunaan *1 baffle*, *2 baffle* ataupun *non baffle*.



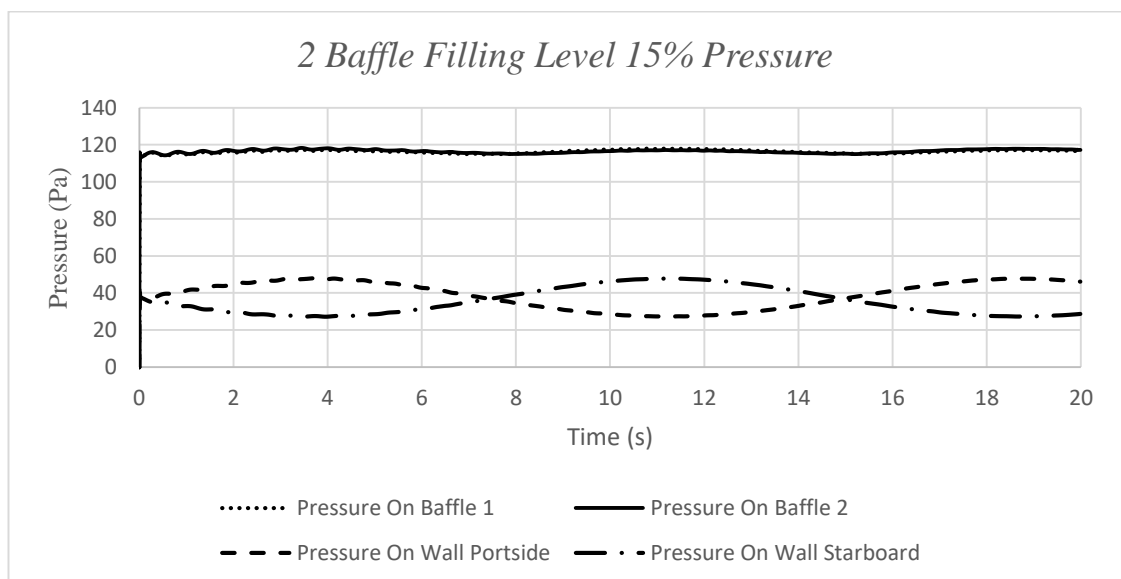
Gambar 5. 37 Hasil Pressure pada Tangki Non Baffle

Pada gambar 5.37 didapatkan hasil tekanan pada tangki *non baffle* saat *filling level 15 %* yang menunjukkan pola *standing wave* yang memiliki trend yang sama antara tekanan pada *wall starboard* dan *wall portside*. Fenomena ini menunjukkan bahwa tekanan tersebut memiliki fase naik dan turun pada durasi waktu tertentu, yang diakibatkan gerak sinusoidal pada gerak rolling tangki yang disimulasikan dengan input gerakan osilasi pada UDF yang dicompile pada *CFD Ansys Fluent*, sehingga menghasilkan perbedaan tekanan sebesar ± 64 Pa pada dinding tangki.



Gambar 5. 38 Hasil Pressure pada 1 *Baffle*

Pada gambar 5.38 didapatkan hasil tekanan pada tangki 1 *baffle* saat *filling level* 15 % yang menunjukkan pola *standing wave* yang memiliki trend yang sama antara tekanan pada *wall starboard*, *wall portside* dan *baffle*. Fenomena ini menunjukkan bahwa tekanan tersebut memiliki fase naik dan turun pada durasi waktu tertentu, yang diakibatkan gerak sinusoidal pada gerak rolling tangki yang disimulasikan dengan input gerakan osilasi pada UDF yang dicompile pada *CFD Ansys Fluent*. Perbedaan tekanan pada lokasi yang diamati sebesar ± 32 Pa pada dinding tangki.



Gambar 5. 39 Hasil Pressure pada 2 *Baffle*

Pada gambar 5.39 didapatkan hasil tekanan pada tangki 2 *baffle* saat *filling level* 15 % yang menunjukkan pola *standing wave* yang memiliki trend yang sama antara tekanan pada *wall starboard* dan *wall portside*. Fenomena ini menunjukkan bahwa tekanan tersebut memiliki fase naik dan turun pada durasi waktu tertentu, Namun pada *baffle 1* dan *baffle 2* di periode awal memiliki pola *standing wave* yang sama, setelah itu menunjukkan kekontanan hasil tekanan yang diakibatkan fluida yang bergerak tidak mempengaruhi tekanan pada *baffle* sehingga nilainya konstan. Fase naik dan turun ini yang diakibatkan gerak sinusoidal pada gerak rolling tangki yang disimulasikan dengan input gerakan osilasi pada UDF yang dicompile pada *CFD Ansys Fluent*. Perbedaan tekanan pada lokasi yang diamati sebesar ± 20 Pa pada dinding tangki.

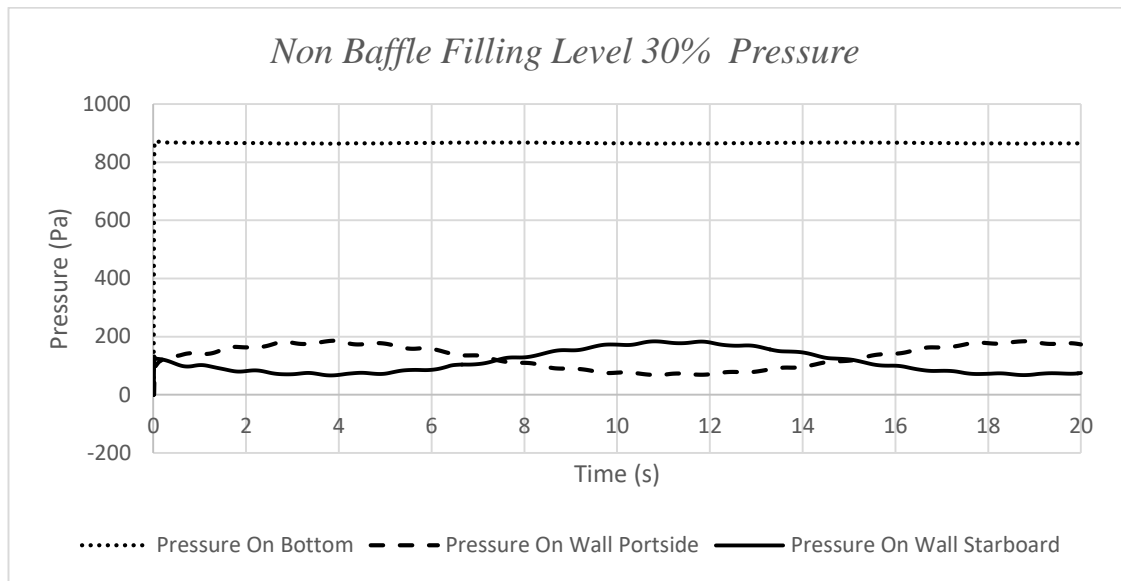
Tabel 5. 5 Hasil Tekanan pada *Filling Level* 15%

	Wall Starboard (Pa)	Wall Portside (Pa)	Bottom / Baffle (Pa)
Non baffle filling 15%	75.87	75.79	481
1 Baffle filling 15 %	54.80	55.56	127.70
2 Baffle filling 15%	47.78	47.47	117

Dari hasil diatas dapat disimpulkan bahwa tekanan pada tangki dengan *filling level* 15% pada *wall starboard*, *wall portside* dan *bottom* mengalami penurunan nilai tekanan pada penggunaan *baffle*, dan penurunan dengan menggunakan 1 *baffle* mencapai 27% dari tangki *non baffle* dan mengalami penurunan yang lebih besar pada penggunaan 2 *baffle* mencapai 37 %, sehingga *baffle* memiliki pengaruh penurunan atau meredam tekanan pada *filling level* tangki 15%

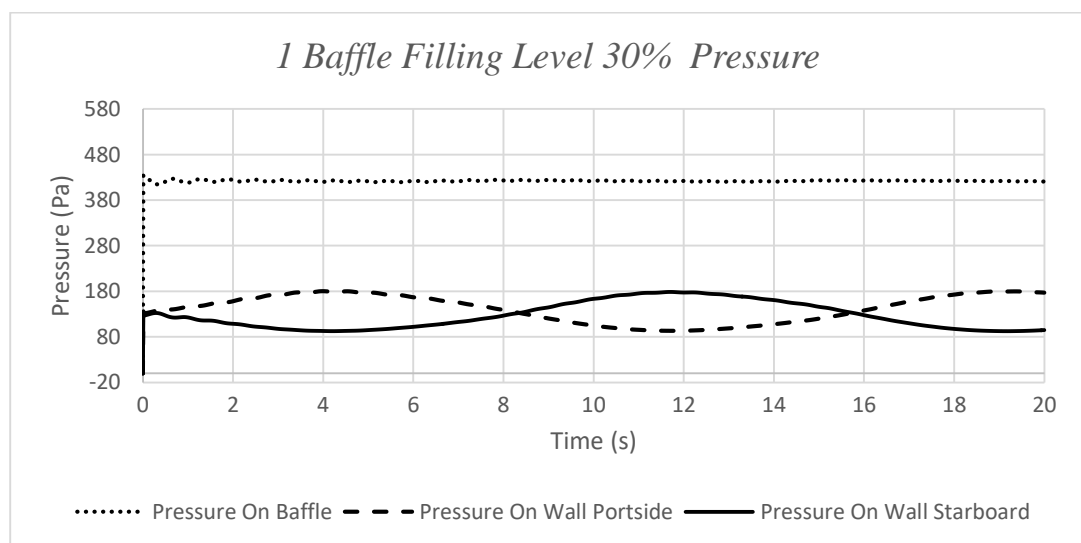
4.3.2 *Filling Level* 30%

Pada *filling level* 30% artinya tinggi *baffle* dengan tinggi fluida air sama dan hasilnya bisa dengan membandingkan hasil tekanan tangki dengan penggunaan 1 *baffle*, 2 *baffle* ataupun *non baffle*.



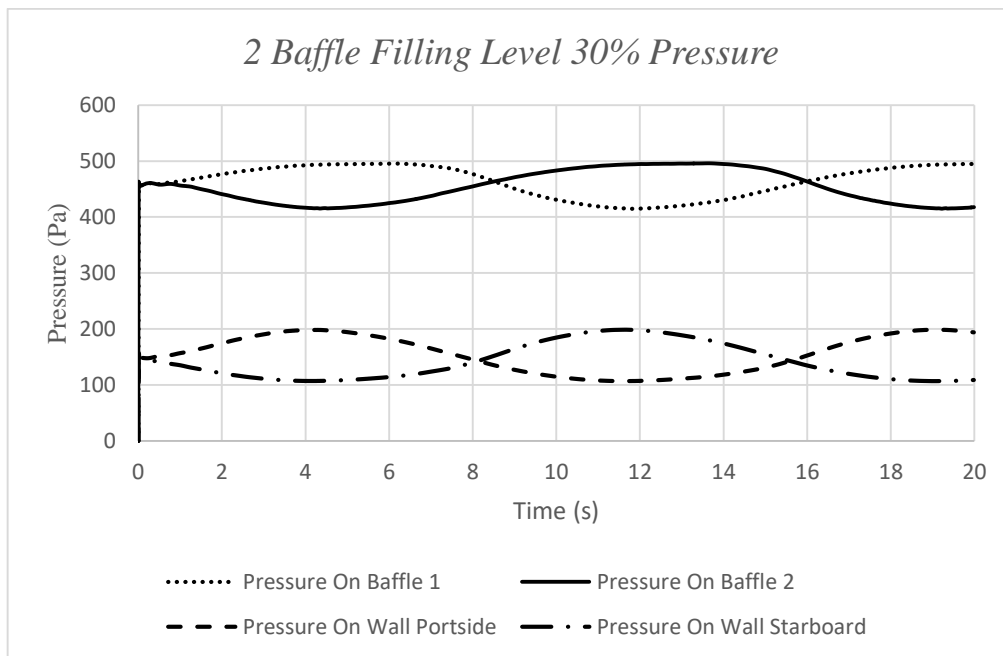
Gambar 5. 40 Hasil Pressure pada Tangki *Non Baffle*

Pada gambar 5.40 didapatkan hasil tekanan pada tangki *non baffle* saat *filling level 30 %* yang menunjukkan pola *standing wave* yang memiliki trend yang sama antara tekanan pada *wall starboard* dan *wall portside*. Fenomena ini menunjukkan bahwa tekanan tersebut memiliki fase naik dan turun pada durasi waktu tertentu, Namun pada *bottom* menunjukkan kekonstanan hasil tekanan, hal ini diakibatkan fluida yang bergerak tidak mempengaruhi tekanan pada *baffle* sehingga nilainya konstan. Fase naik dan turun ini yang diakibatkan gerak sinusoidal pada gerak rolling tangki yang disimulasikan dengan input gerakan osilasi pada UDF yang dicompile pada *CFD Ansys Fluent*, sehingga menghasilkan perbedaan tekanan sebesar ± 113 Pa.



Gambar 5. 41 Hasil Pressure pada Tangki 1 *Baffle*

Pada gambar 5.41 didapatkan hasil tekanan pada tangki 1 *baffle* saat *filling level* 30 % yang menunjukkan menunjukkan pola *standing wave* yang memiliki trend yang sama antara tekanan pada *wall starboard*, dan *wall portside*. Fenomena ini menunjukkan bahwa tekanan tersebut memiliki fase naik dan turun pada durasi waktu tertentu, yang diakibatkan gerak sinusoidal pada gerak rolling tangki yang disimulasikan dengan input gerakan osilasi pada UDF yang dicompile pada *CFD Ansys Fluent*. Namun pada *baffle* di periode awal memiliki pola *standing wave* yang sama, setelah itu menunjukkan kekontanan hasil tekanan yang diakibatkan fluida yang bergerak tidak mempengaruhi tekanan pada *baffle* sehingga nilainya konstan. Perbedaan tekanan pada lokasi yang diamati sebesar ± 100 Pa pada dinding tangki.



Gambar 5. 42 Hasil Pressure pada Tangki 2 *Baffle*

Pada gambar 5.42 didapatkan hasil tekanan pada tangki 2 *baffle* saat *filling level* 30 % yang menunjukkan pola *standing wave* yang memiliki trend yang sama antara tekanan pada *wall starboard*, *wall portside*, *baffle 1* dan *baffle 2*. Fenomena ini menunjukkan bahwa tekanan tersebut memiliki fase naik dan turun pada durasi waktu tertentu, yang diakibatkan gerak sinusoidal pada gerak rolling tangki yang disimulasikan dengan input gerakan osilasi pada UDF yang dicompile pada *CFD Ansys Fluent*. Perbedaan tekanan pada lokasi yang diamati sebesar ± 90 Pa pada dinding tangki.

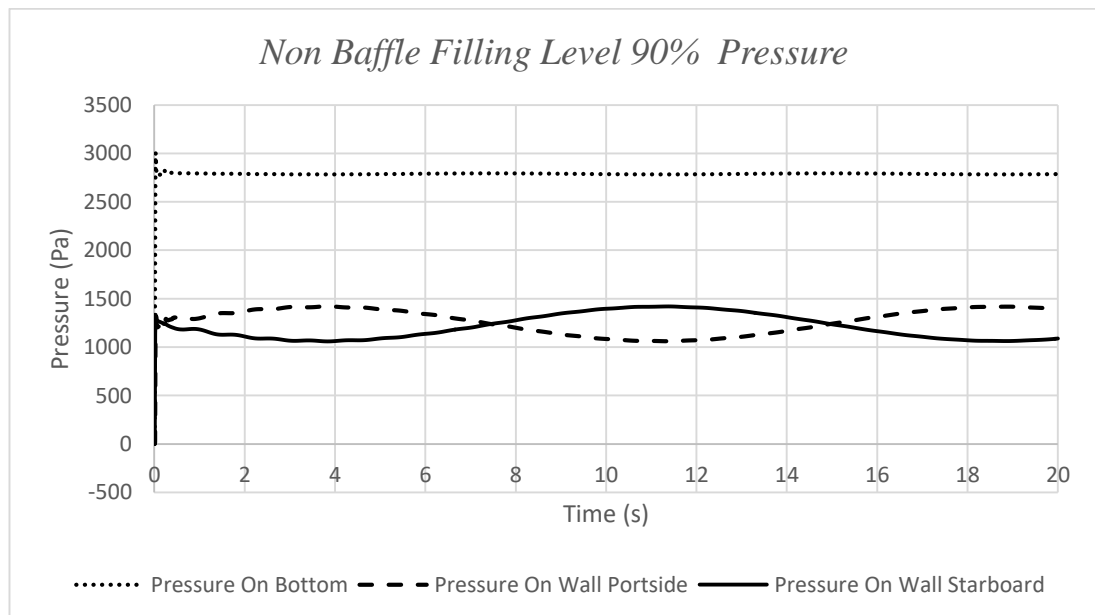
Tabel 5. 6 Hasil Tekanan pada Filling Level 30%

	<i>Wall Starboard (Pa)</i>	<i>Wall Portside (Pa)</i>	<i>Bottom / Baffle (Pa)</i>
<i>Non baffle filling 30%</i>	177.74	176..22	870.33
<i>1 Baffle filling 30 %</i>	177.82	179.68	424.01
<i>2 Baffle filling 30%</i>	197.82	198.18	489.86

Dari hasil diatas dapat disimpulkan bahwa tekanan pada tangki dengan *filling level 30%* memiliki fase naik dan turun dengan penggunaan *baffle*. Untuk tekanan pada *bottom/baffle* memiliki kecenderungan turun jika dibandingkan dengan tangki *non baffle* dan memiliki kecenderung naik pada pnggunaan 2 *baffle*. Pada *wall starboard* dan *wall portside* tangki yang menggunakan *baffle* memiliki karakteristik kenaikan nilai tekanan dibandingkan tangki *non baffle*, karena ada gaya permukaan cairan yang muncul diatas *baffle*. Peningkatan nilai tekanan itu sebesar ± 0.05 -12 % dari tangki *non baffle*.

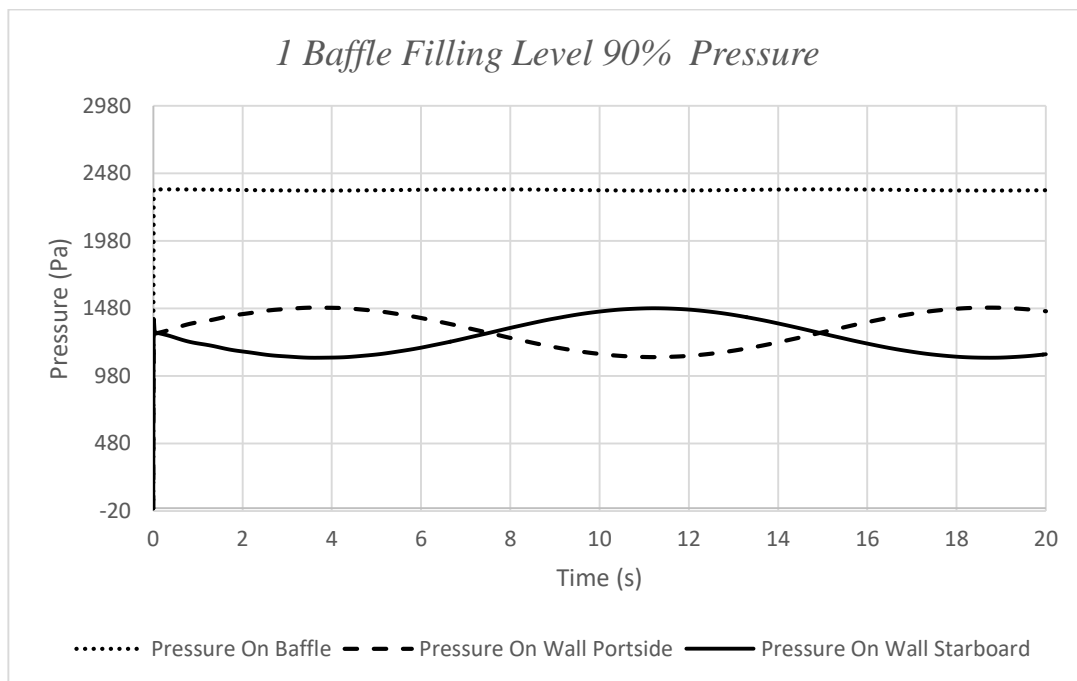
4.3.3 Filling Level 90%

Pada *filling level 90%* artinya tinggi *baffle* lebih rendah dengan tinggi fluida air dan hasilnya bisa dengan membandingkan hasil tekanan tangki dengan penggunaan 1 *baffle*, 2 *baffle* ataupun *non baffle*.



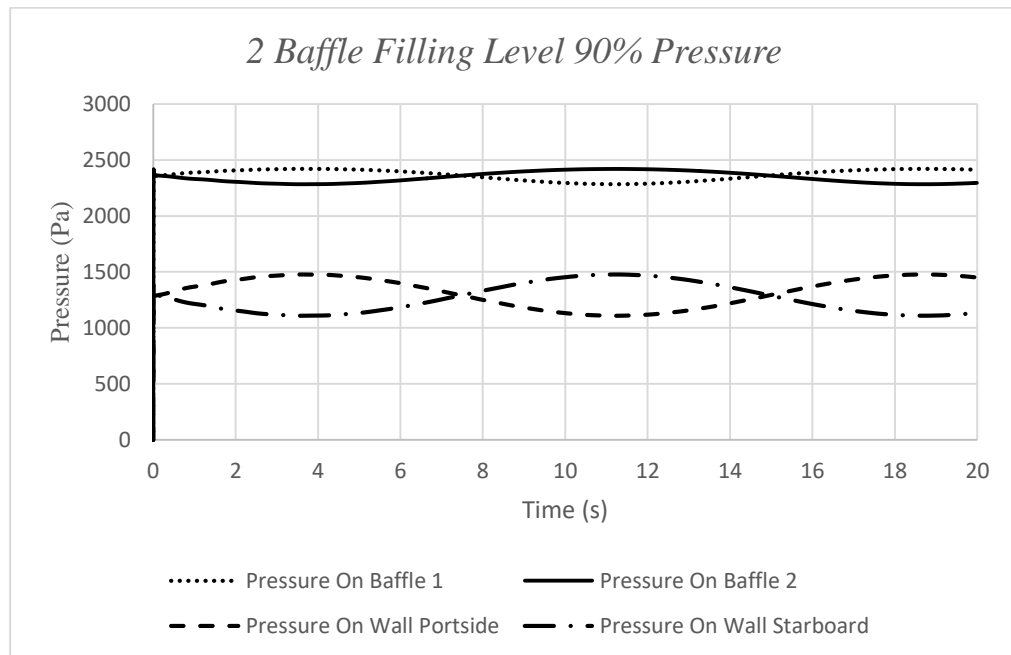
Gambar 5. 43 Hasil Pressure pada Tangki *Non Baffle*

Pada gambar 5.43 didapatkan hasil tekanan pada tangki *non baffle* saat *filling level 90 %* yang pola *standing wave* yang memiliki trend yang sama antara tekanan pada *wall starboard* dan *wall portside*. Fenomena ini menunjukkan bahwa tekanan tersebut memiliki fase naik dan turun pada durasi waktu tertentu, Namun pada *bottom* menunjukkan kekonstanan hasil tekanan, hal ini diakibatkan fluida yang bergerak tidak mempengaruhi tekanan pada *baffle* sehingga nilainya konstan. Fase naik dan turun ini yang diakibatkan gerak sinusoidal pada gerak rolling tangki yang disimulasikan dengan input gerakan osilasi pada UDF yang dicompile pada *CFD Ansys Fluent* sehingga menghasilkan perbedaan tekanan sebesar ± 400 Pa pada dinding tangki.



Gambar 5. 44 Hasil Pressure pada Tangki 1 *Baffle*

Pada gambar 5.44 didapatkan hasil tekanan pada tangki *1 baffle* saat *filling level 90 %* yang pola *standing wave* yang memiliki trend yang sama antara tekanan pada *wall starboard* dan *wall portside*. Fenomena ini menunjukkan bahwa tekanan tersebut memiliki fase naik dan turun pada durasi waktu tertentu, Namun pada *bottom* menunjukkan kekonstanan hasil tekanan, hal ini diakibatkan fluida yang bergerak tidak mempengaruhi tekanan pada *baffle* sehingga nilainya konstan. Fase naik dan turun ini yang diakibatkan gerak sinusoidal pada gerak rolling tangki yang disimulasikan dengan input gerakan osilasi pada UDF yang dicompile pada *CFD Ansys Fluent*, sehingga menghasilkan perbedaan tekanan sebesar ± 300 Pa pada dinding tangki.



Gambar 5. 45 Hasil Pressure pada Tangki 2 *Baffle*

Pada gambar 5.45 didapatkan hasil tekanan pada tangki 2 *baffle* saat *filling level* 90 % yang menunjukkan pola *standing wave* yang memiliki trend yang sama antara tekanan pada *wall starboard*, *wall portside*, *baffle 1* dan *baffle 2*. Fenomena ini menunjukkan bahwa tekanan tersebut memiliki fase naik dan turun pada durasi waktu tertentu, yang diakibatkan gerak sinusoidal pada gerak rolling tangki yang disimulasikan dengan input gerakan osilasi pada UDF yang dicompile pada *CFD Ansys Fluent*. Perbedaan tekanan pada lokasi yang diamati sebesar ± 400 Pa pada dinding tangki.

Tabel 5. 7 Hasil Tekanan pada *Filling Level* 90%

	<i>Wall Starboard</i> (Pa)	<i>Wall Portside</i> (Pa)	<i>Bottom / Baffle</i> (Pa)
<i>Non baffle filling 90%</i>	1416.97	1416.76	2782.61
<i>1 Baffle filling 90 %</i>	1464.75	1463.14	2355.02
<i>2 Baffle filling 90%</i>	1476.87	1473.07	2419.05

Dari hasil diatas dapat disimpulkan bahwa tekanan pada tangki dengan *filling level* 90% memiliki fase naik dan turun dengan penggunaan *baffle*. Untuk tekanan pada *bottom/baffle* memiliki kecenderungan turun jika dibandingkan dengan tangki *non baffle* dan memiliki kecenderungan naik pada penggunaan 2 *baffle*. Pada *wall*

starboard dan *wall portside* tangki yang menggunakan *baffle* memiliki karakteristik kenaikan nilai tekanan dibandingkan tangki *non baffle*, karena ada gaya permukaan cairan yang muncul diatas *baffle*. Peningkatan nilai tekanan itu sebesar $\pm 3-4 \%$ dari tangki *non baffle*.

Tabel 5. 8 Hasil Tekanan pada Variasi *Filling Level*

Variasi Filling Level	Wall Starboard (Pa)	Wall Portside (Pa)	Bottom / Baffle (Pa)
<i>Non baffle filling 15%</i>	75.87	75.79	481
<i>1 Baffle filling 15 %</i>	54.80	55.56	127.70
<i>2 Baffle filling 15%</i>	47.78	47.47	117
<i>Non baffle filling 30%</i>	177.74	176..22	870.33
<i>1 Baffle filling 30 %</i>	177.82	179.68	424.01
<i>2 Baffle filling 30%</i>	197.82	198.18	489.86
<i>Non baffle filling 90%</i>	1416.97	1416.76	2782.61
<i>1 Baffle filling 90 %</i>	1464.75	1463.14	2355.02
<i>2 Baffle filling 90%</i>	1476.87	1473.07	2419.05

Dari tabel 5.8 hasil tekanan pada variasi *filling level* dapat disimpulkan bahwa *filling level* mempengaruhi tekanan yang dihasilkan, semakin besar *filling level* maka semakin besar pula tekanan yang dihasilkan. Kemudian pengaruh penggunaan *baffle*, pada *filling level* 15% penggunaan *baffle* mengurangi tekanan dan bahkan penggunaan 2 *baffle* lebih besar mengurangi tekanan pada dinding tangki yang dianalisa mencapai 37 % dari tangki *non baffle*. Namun untuk penggunaan *baffle* pada *filling level* 30% dan 90% tekanan pada dinding tangki mengalami kenaikan dikarenakan munculnya gaya permukaan cairan sehingga menyebabkan gelombang yang lebih tinggi diatas *baffle*, sehingga dapat disimpulkan bahwa fungsi *baffle* lebih efisien ketika ketinggian *baffle* lebih tinggi dari *filling level* pada tangki.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa , maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Gerakan *rolling* mempengaruhi *sloshing* yang terjadi pada tangki kotak observasi dengan melihat secara visual bentuk gerakan fluida dengan nilai input *frekuensi* 0.42 (rad/s), 5 RPM dan amplitudo 0.0873 rad, Namun pada penelitian ini tidak diukur nilai tekanan yang terjadi pada tangki observasi.
2. Proses simulasi *sloshing* dilakukan dengan mensimulasikan tangki menggunakan software *CFD Ansys Fluent* dengan metode *Volume of Fluid* (VOF) pada kondisi multiphase fluida air dan udara dengan menghitung nilai tekanan secara numerik.
3. Validasi hasil numerik yang diasumsikan mendekati hasil pengujian tangki observasi dilakukan dengan cara membandingkan hasil numerik dan hasil pengujian tangki menggunakan metode RMSE yang mempunyai nilai sebesar 0.67-0.83
4. Variasi *filling level* mempengaruhi peningkatan nilai total tekanan maksimum yang dihasilkan sesuai variasi *filling level* yang dilakukan dan total tekanan maksimum terbesar terjadi pada saat *filling level* 90% pada tangki yang menggunakan 2 *baffle* nilainya sebesar 1476.87 Pa
5. Penggunaan *baffle* pada *filling level* 15% dan 30% atau sama dengan tinggi tinggi *baffle* serta *filling level* 90% memiliki kecenderungan dapat mengurangi nilai tekanan akibat *sloshing* yang terjadi pada lokasi yang dianalisa. Namun pada *filling level* 30% atau sama dengan tinggi *baffle* dan 90% mengalami kenaikan nilai tekanan pada dinding tangki dikarenakan munculnya gaya permukaan cairan yang menyebabkan gelombang yang lebih tinggi diatas *baffle*, sehingga dapat disimpulkan bahwa fungsi *baffle* lebih efisien ketika ketinggian *baffle* lebih tinggi dari *filling level*.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, beberapa saran diberikan untuk menunjang hasil penelitian ini diantaranya adalah sebagai berikut :

- ❖ Proses *grid independence* perlu diperhatikan lebih terkait ukuran meshing, jumlah elemen meshing, waktu meshing dan spesifikasi komputer yang digunakan agar dapat diperoleh *grid independence* sesuai dengan aturan dari komunitas masyarakat CFD 2%
- ❖ Perlu adanya studi lanjutan terkait variasi tinggi *baffle*, jumlah *baffle* dll sehingga akan diperoleh spesifikasi *baffle* yang optimal untuk mengurangi efek sloshing
- ❖ Pada proses pengujian tangki model perlu dilakukan proses pengukuran nilai tekanan sekaligus menentukan titik lokasi pengukuran nilai tekanan pada dinding tangki.

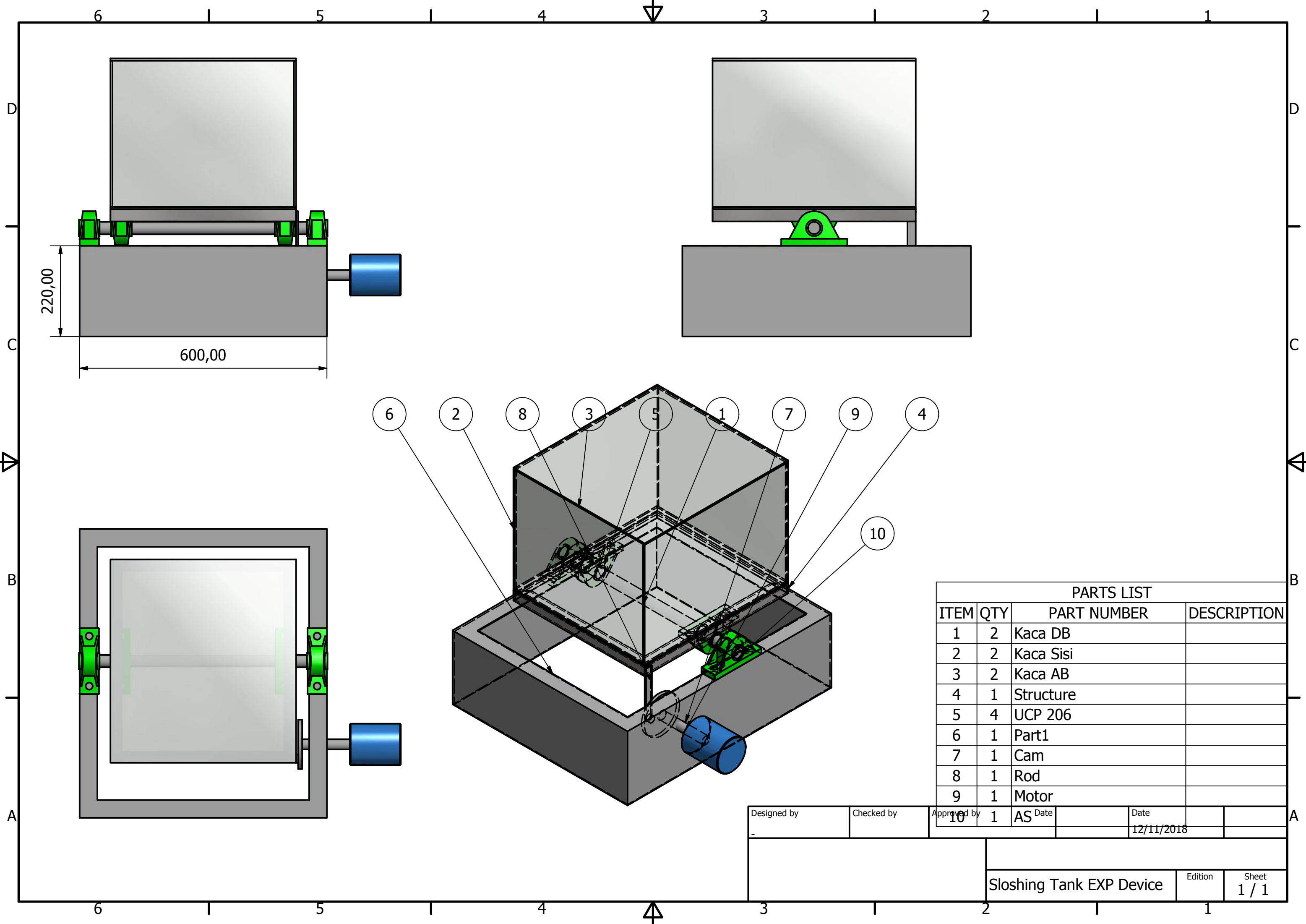
DAFTAR PUSTAKA

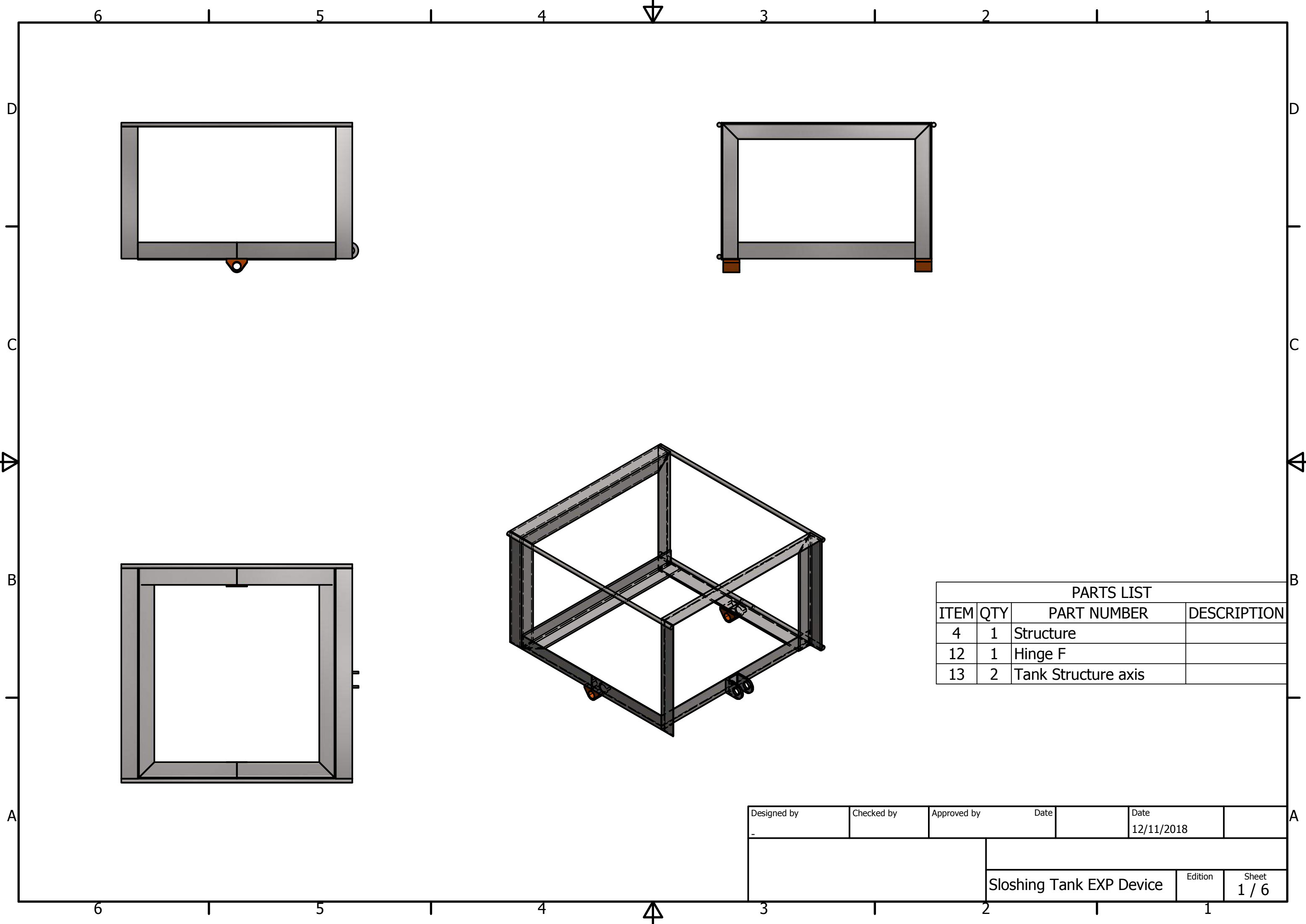
- Delpizzo, R. (2014, July). Gas Carriers : Arrangements & Characteristics. *Presentation to Marine Chemist*. Las Vegas.
- Perez, T., & Blanke, M. (2002). Simulation of Ship Motion in Seaway. *Technical Report EE02037*.
- Bhattacharrya, Rameswar. (1978). Dynamics Of Marine Vehicles. New York : Wiley Publication.
- Djarmiko, E. B. (2012). *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak*. Surabaya: ITS Press
- Anwar, M. S. (2013). *Simulasi Sloshing Pada Dinding Tangki Tipe Membran Kapal LNG Akibat Gerakan Heaving dan Pitching di Gelombang Regular*. Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jurusan Teknik Perkapalan, Surabaya.
- Deng, R., Huang, D., Cheng, J.Li.X., and Yu, L., Discussion of grid generation for catamaran resistance calculation, *Journal of marine Sci. Appl.* (2010) 9: 187-191
- Lee, S.J, dkk. (2005). The effects of LNG-tank sloshing on The global motions of LNG carriers. USA : Texas A&M University.
- Arsad, A. K. (2012). *Studi Gerakan Sloshing Terhadap Tangki Kotak (Rectangular Tank) Dengan dan Tanpa Pelat Memanjang (Baffle) Akibat Gerakan Rolling Kapal Dengan Metode Computational Fluid Dynamics (CFD)*. Jurnal POMITS, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jurusan Teknik Perkapalan, Surabaya.
- Rognebakke, Olav dkk. (2009). Sloshing Impact Design Load Assessment. International Society of Offshore and Polar Engineer.
- Soren, R. (2014). Optimal control of an array of non-linear wave energy point converters. *Ocean Engineering*.
- Khezzar, L., & Seibi, A. (2009). Water Sloshing in Rectangular Tanks - An Experimental Investagion & Numerical Simulation. *International Journal of Engineering*, 3(2).

- Sulisetyono, A. (2018). *Sloshing analysis of the independent tank type C due to the LNG ship motions using computational fluid dynamic. International Conference on Thermo fluids*
- Sulisetyono, A., Nurfadli, M R. (2016). Studi Sloshing pada Independent Tank Type C secara Memanjang Akibat Gerakan Kapal LNG dengan Metode Computational Fluid Dynamic (CFD). Conference on Innovation and Industrial Applications (CINIA).
- Myung, J. (2013, June 2013). Effect of Sloshing Loads on Fatigue Strength of Independent Type B LNG Tank. *International Journal of Offshore and Polar Engineers*, 23.
- FLUENT, FLUENT Manual VII, Ansys 18.2
- Jamaluddin, A., Utama, I.K.A.P. and Molland, A.F., *Experimental Investigation Into the Drag Characteristics of Symmetrical and Asymmetrical Staggered and Unstaggered Catamaran*, International Conference on Ship & Offshore Technology (ICSOT)-Indonesia 2010, Surabaya, 11- 12 Novenber 2010.
- Dinham, T.A., Craddock, C., Lebas, A., and Ganguly, A., *Use of CFD for hull form and appendage design assessment on a offshore patrol vessel and identification of a wake focusing effect*, RINA Marine CFD Conference, Southampton, UK., 2008.
- Burrow, R. (2016). Identification of liquid sloshing dynamics by CFD analysis on board of a spin stabilized satellite. Bremen: Universitat Bremen

LAMPIRAN

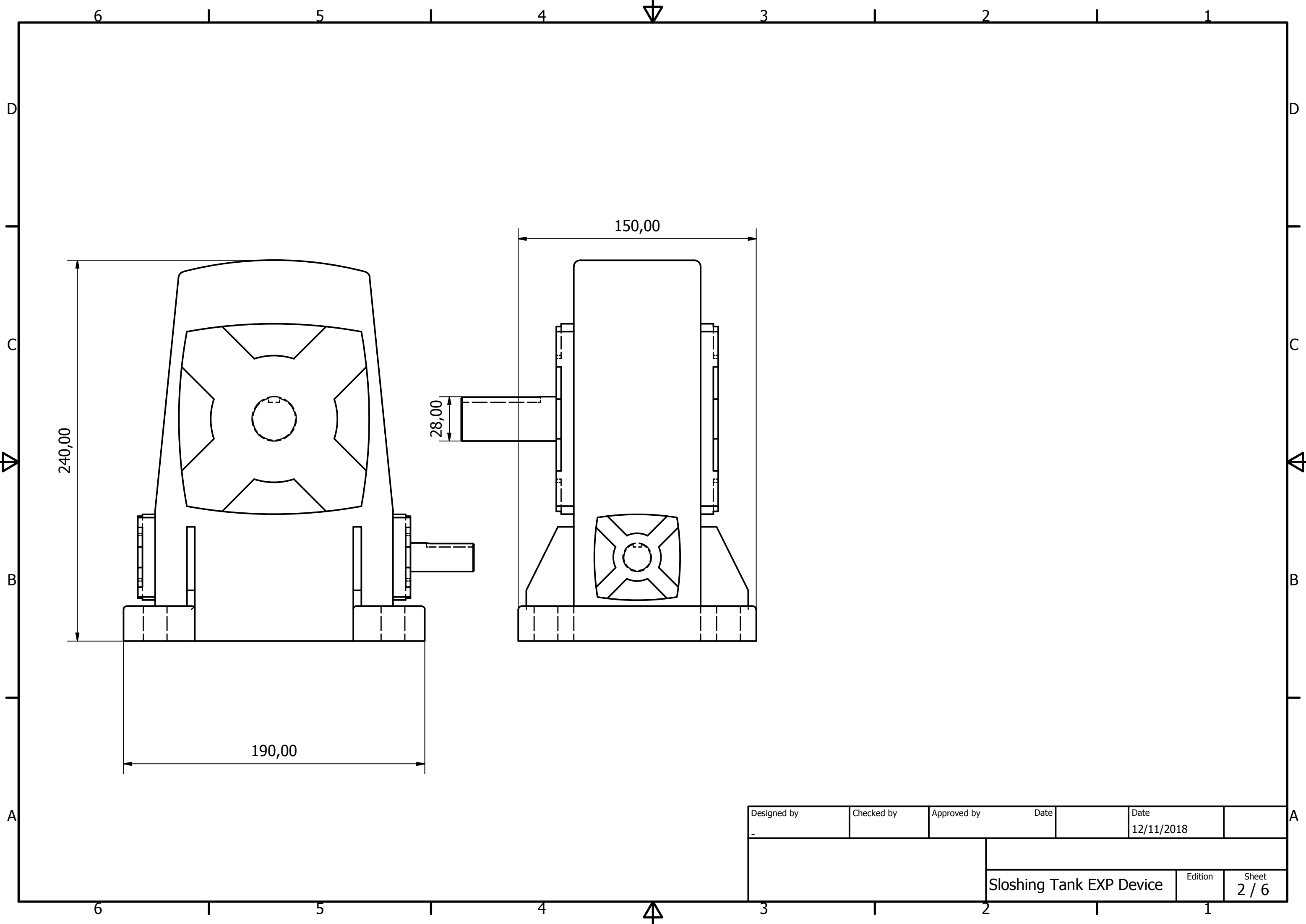
LAMPIRAN



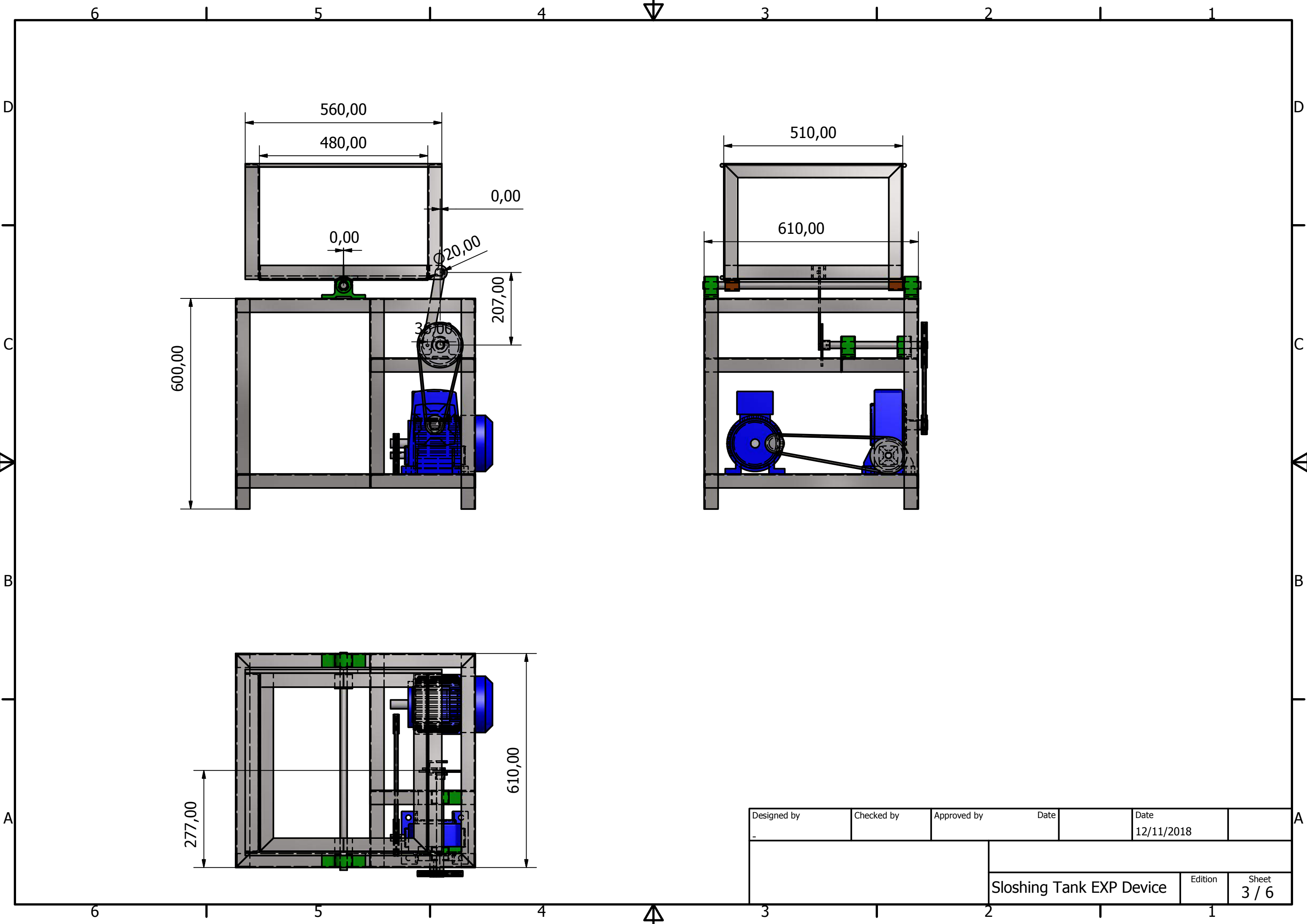


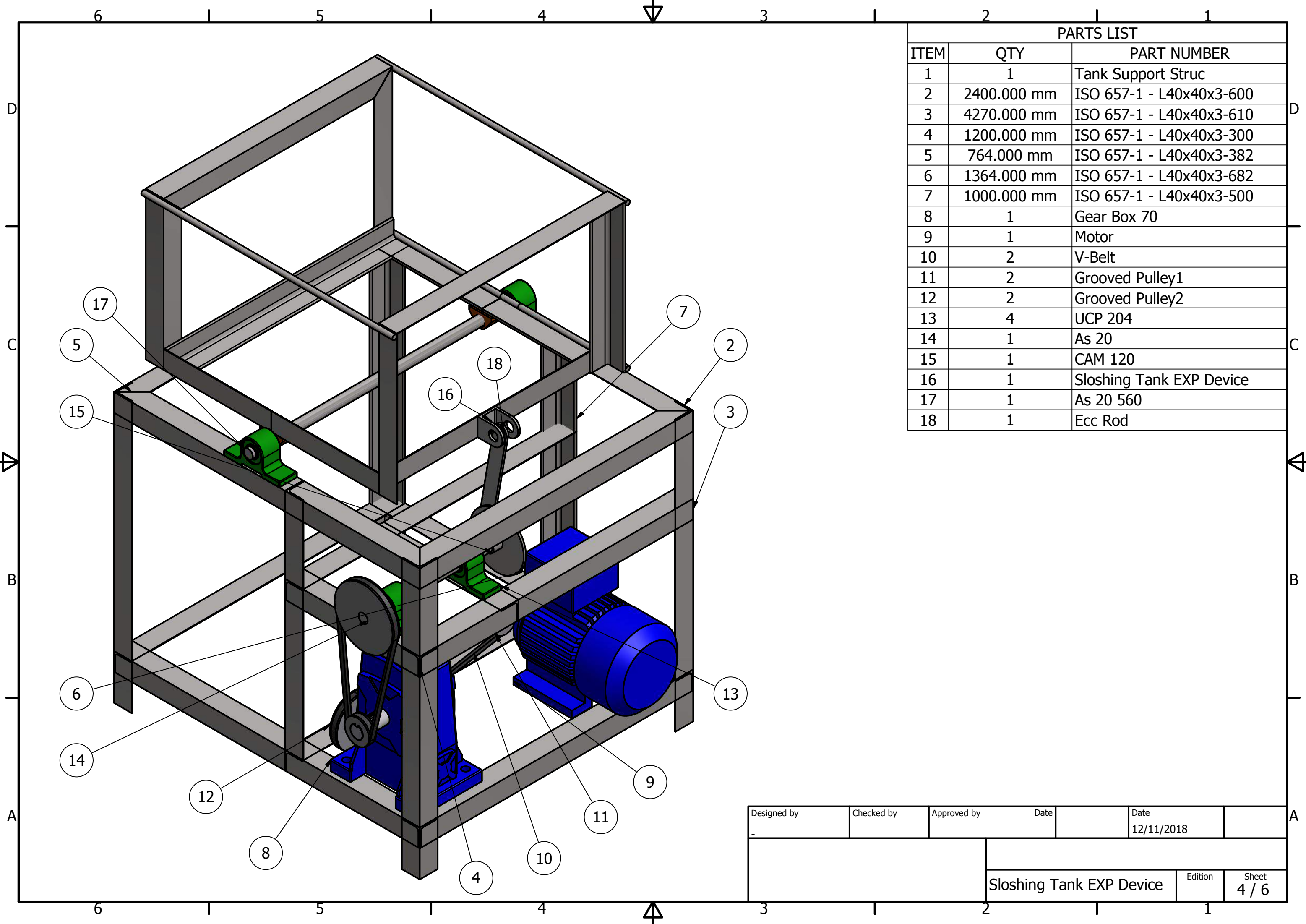
PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
4	1	Structure	
12	1	Hinge F	
13	2	Tank Structure axis	

Designed by	Checked by	Approved by	Date	Date	
-				12/11/2018	
			Sloshing Tank EXP Device	Edition	Sheet 1 / 6



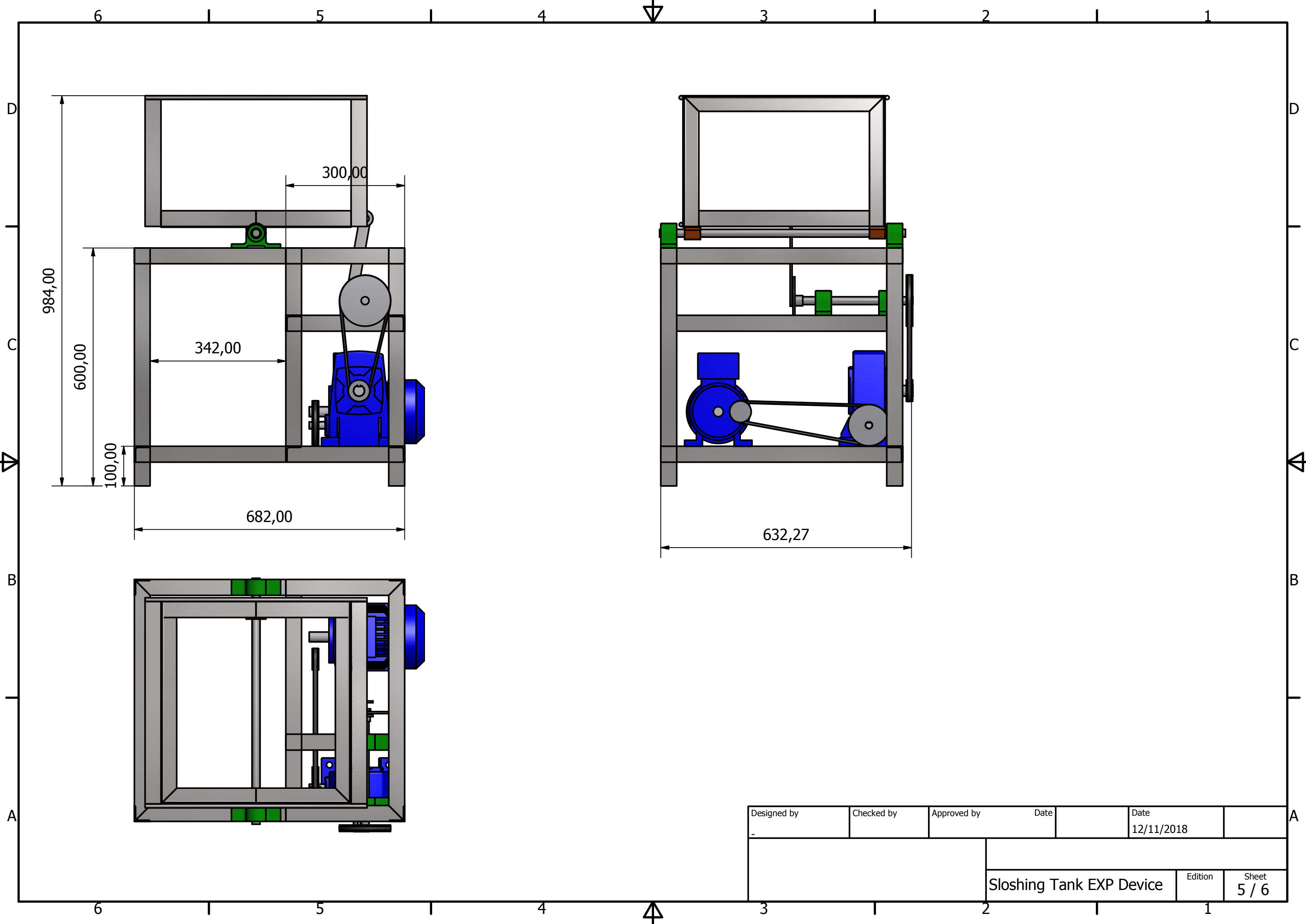
Designed by	Checked by	Approved by	Date	Date	
-			12/11/2018		
			Sloshing Tank EXP Device		
			Edition	Sheet 2 / 6	



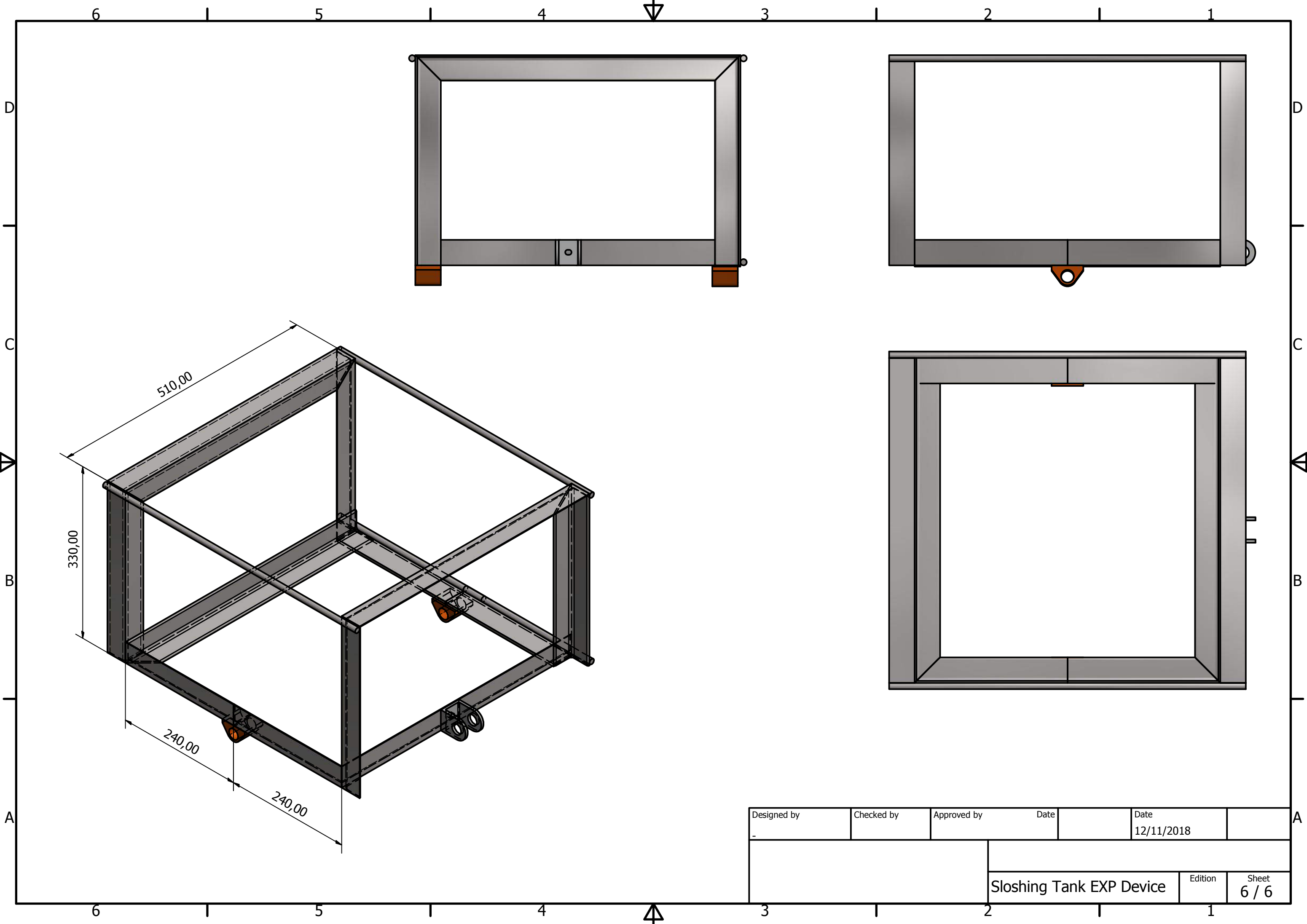


PARTS LIST		
ITEM	QTY	PART NUMBER
1	1	Tank Support Struc
2	2400.000 mm	ISO 657-1 - L40x40x3-600
3	4270.000 mm	ISO 657-1 - L40x40x3-610
4	1200.000 mm	ISO 657-1 - L40x40x3-300
5	764.000 mm	ISO 657-1 - L40x40x3-382
6	1364.000 mm	ISO 657-1 - L40x40x3-682
7	1000.000 mm	ISO 657-1 - L40x40x3-500
8	1	Gear Box 70
9	1	Motor
10	2	V-Belt
11	2	Grooved Pulley1
12	2	Grooved Pulley2
13	4	UCP 204
14	1	As 20
15	1	CAM 120
16	1	Sloshing Tank EXP Device
17	1	As 20 560
18	1	Ecc Rod

Designed by	Checked by	Approved by	Date	Date	
-				12/11/2018	
			Sloshing Tank EXP Device	Edition	Sheet 4 / 6

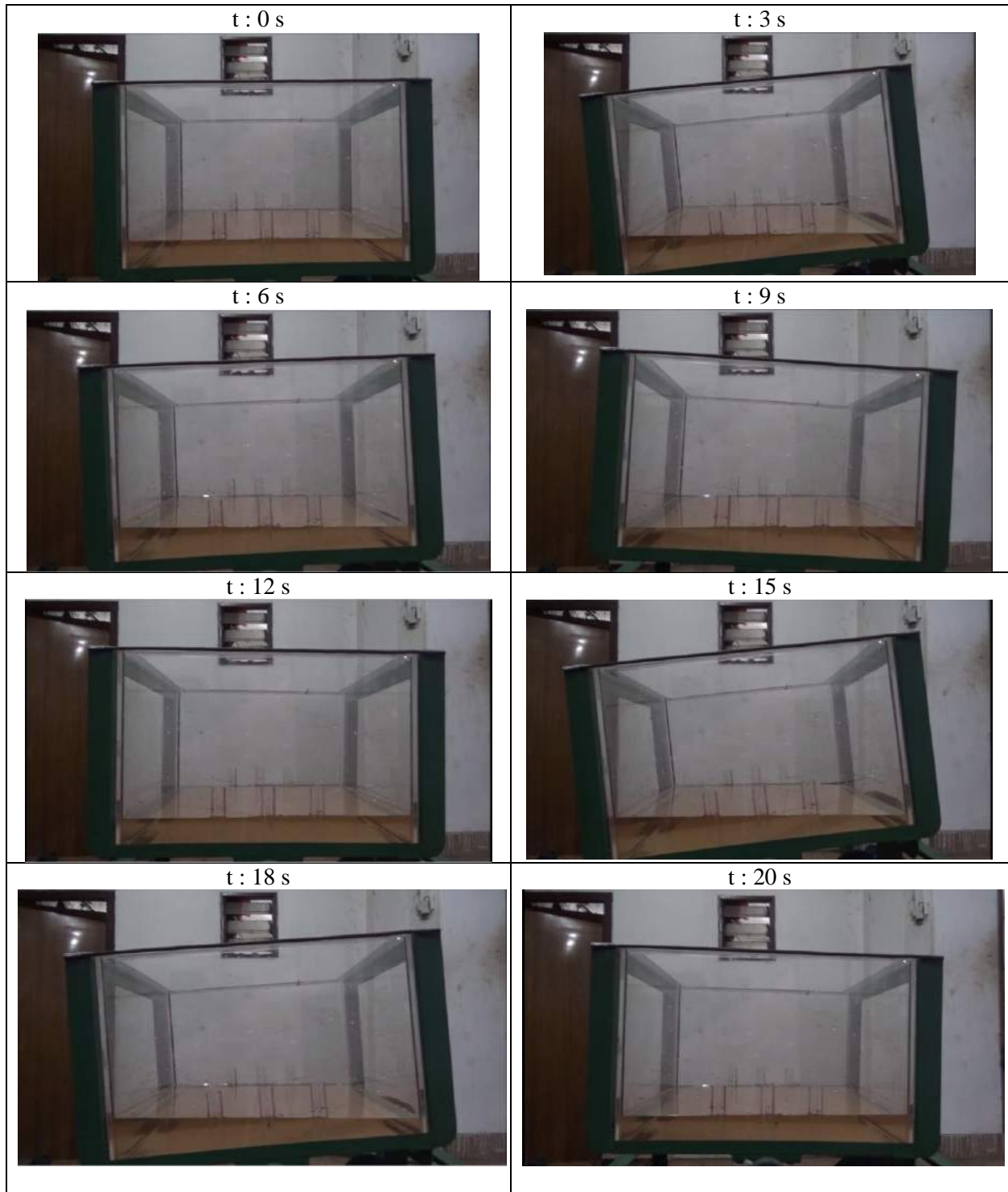


Designed by	Checked by	Approved by	Date	Date	
-				12/11/2018	
			Sloshing Tank EXP Device		Edition
					Sheet
					5 / 6

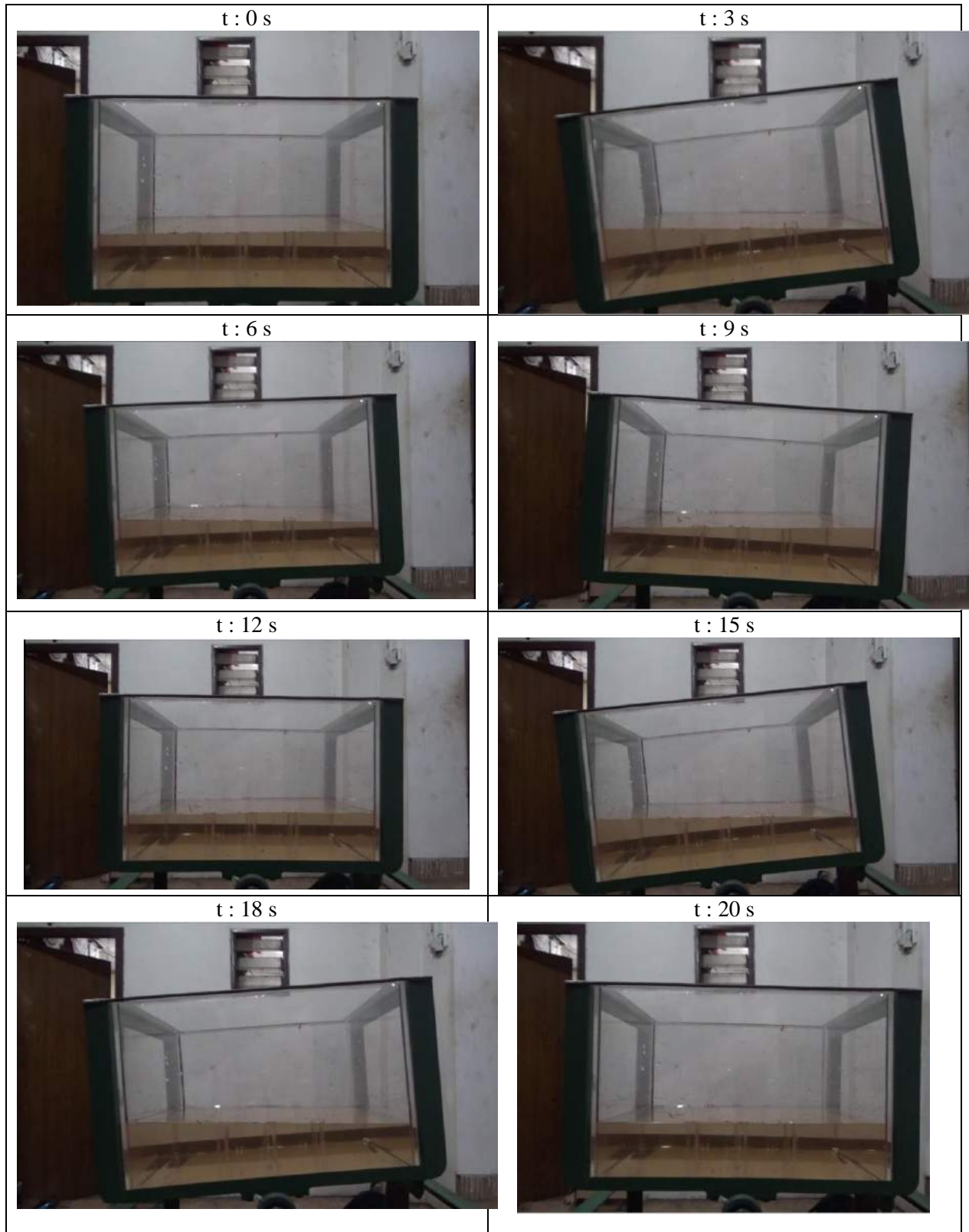


Designed by	Checked by	Approved by	Date	Date	
-				12/11/2018	
			Sloshing Tank EXP Device		
			Edition	Sheet 6 / 6	

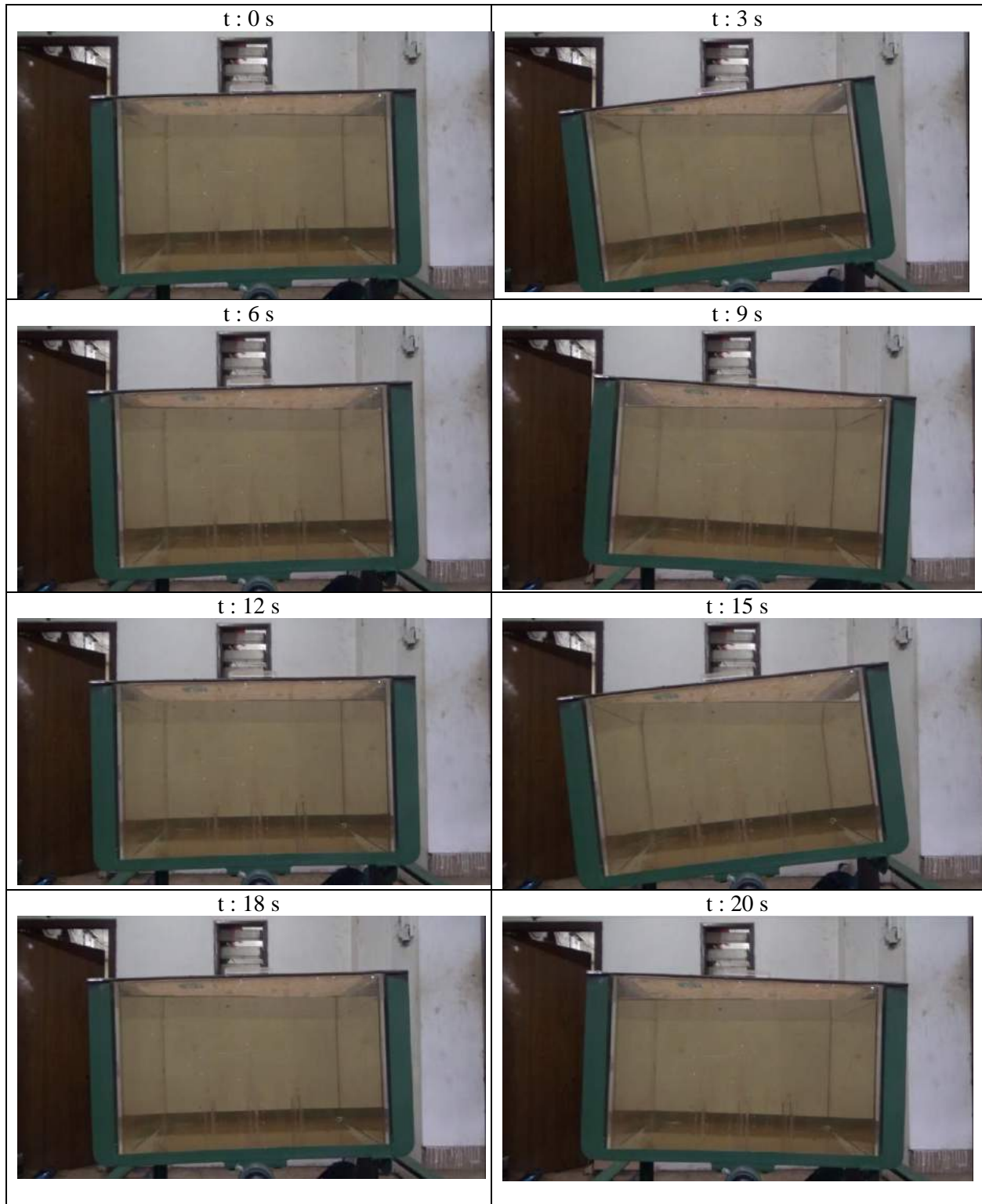
Non Baffle Filling Level 15%



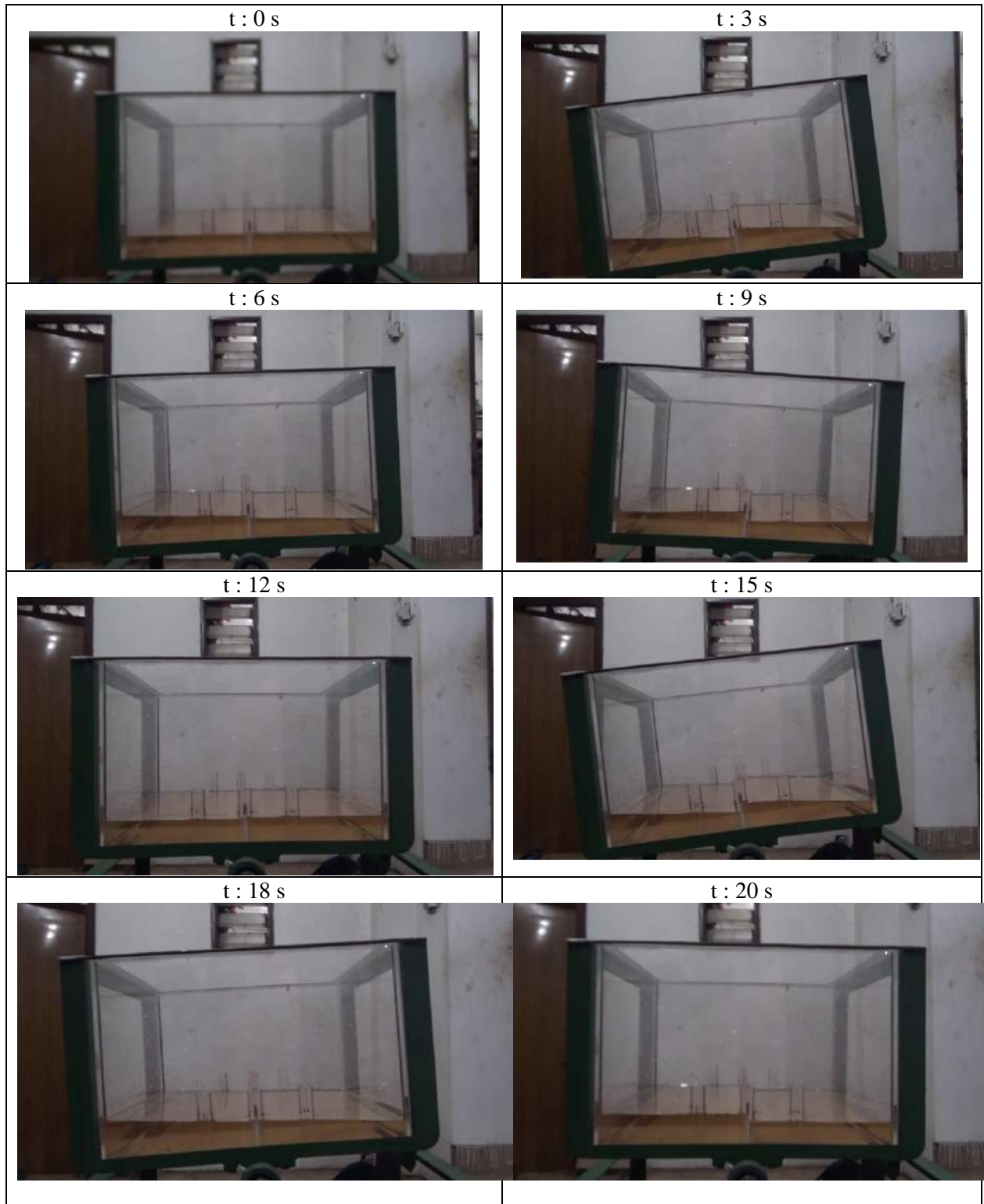
Non Baffle Filling Level 30%



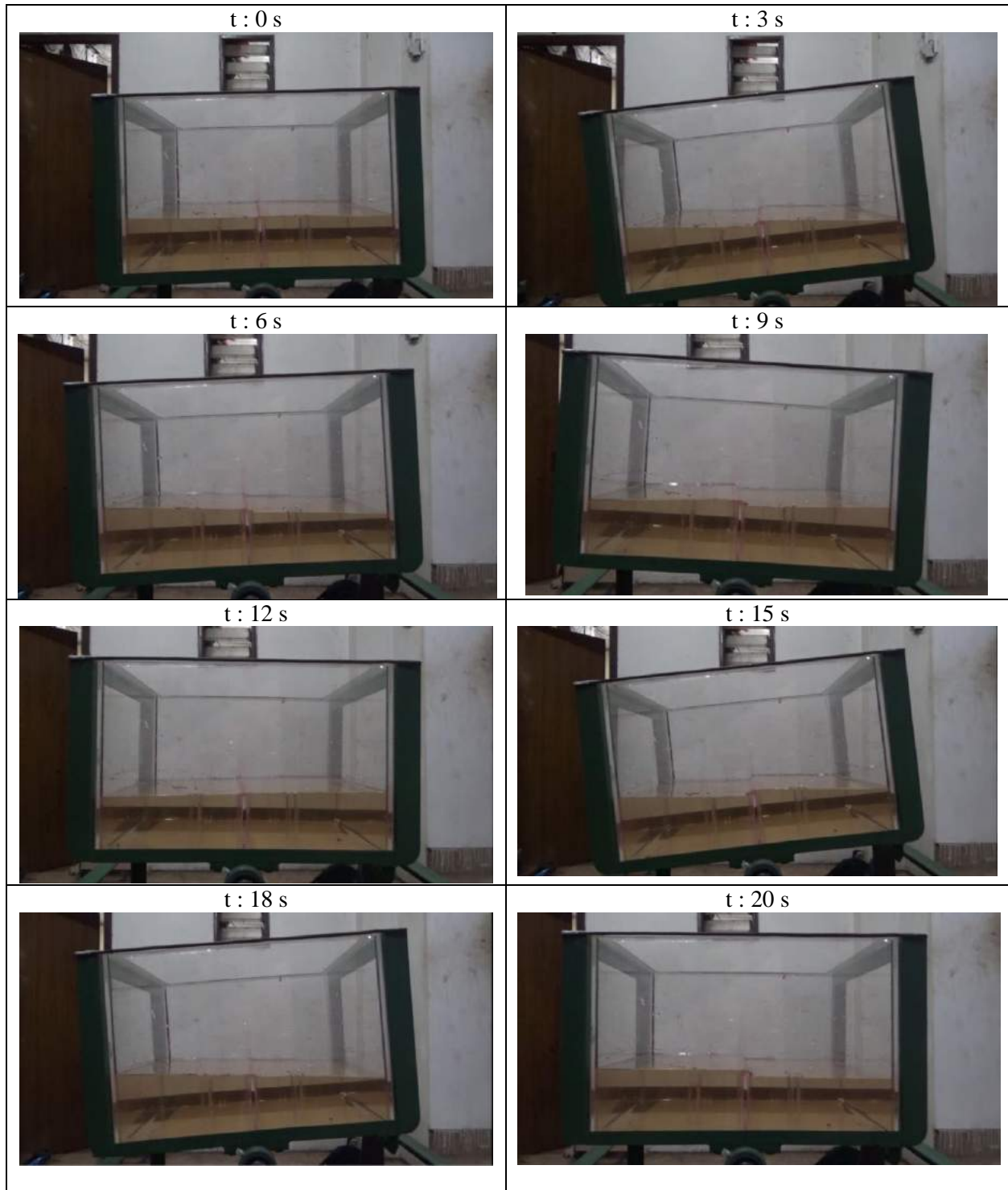
Non Baffle Filling Level 90%



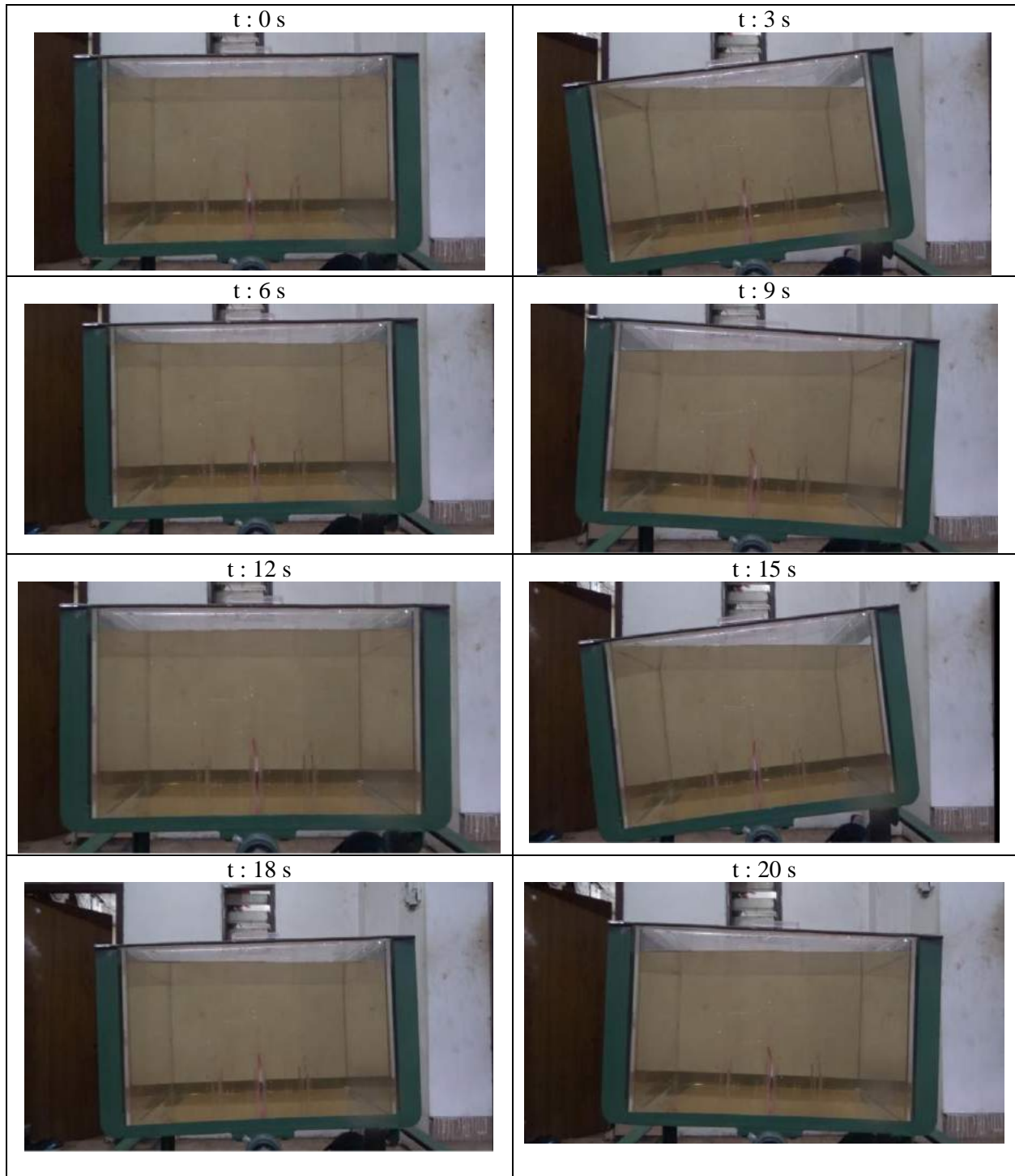
1 Baffle Filling Level 15%



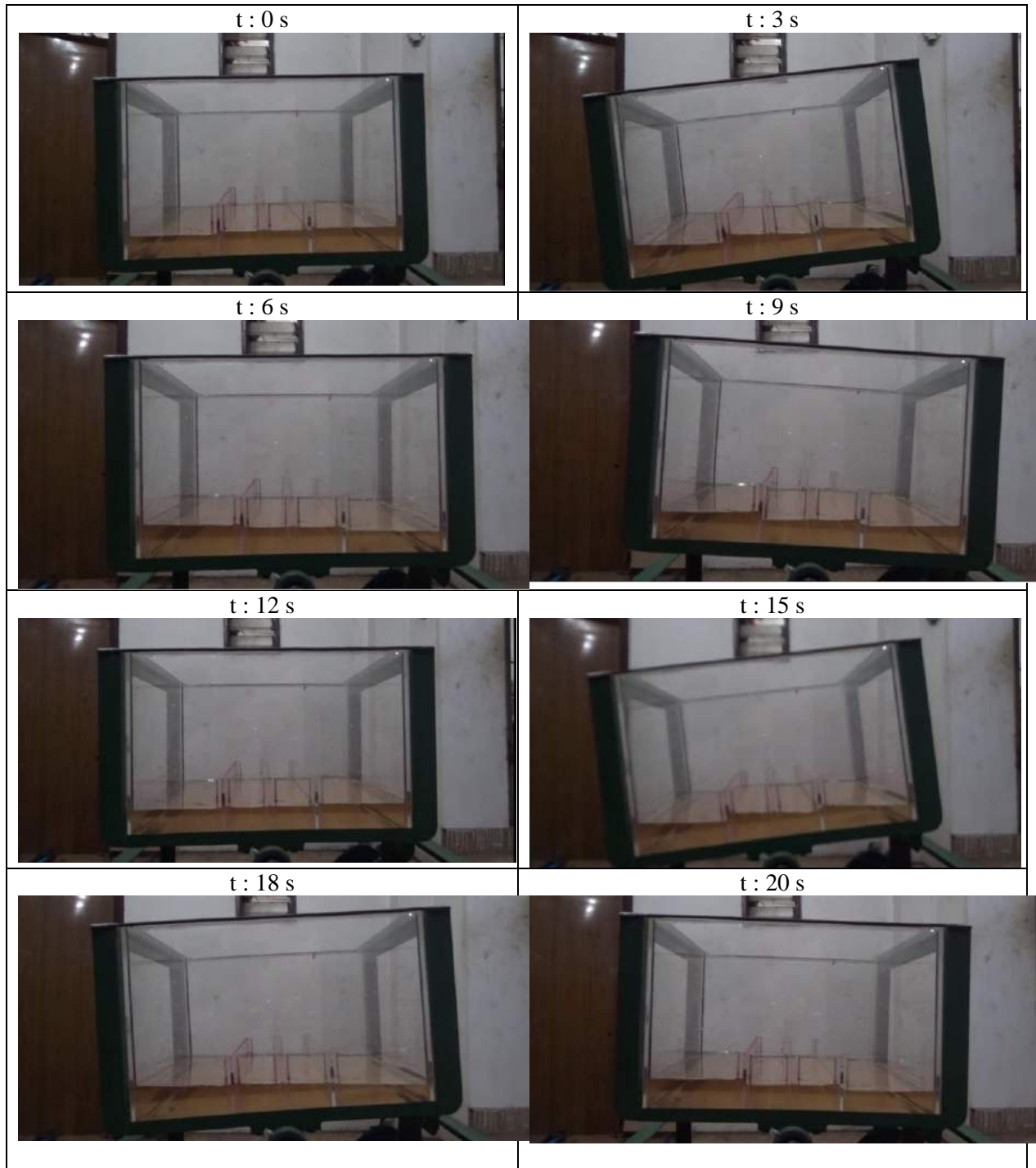
1 Baffle Filling Level 30%



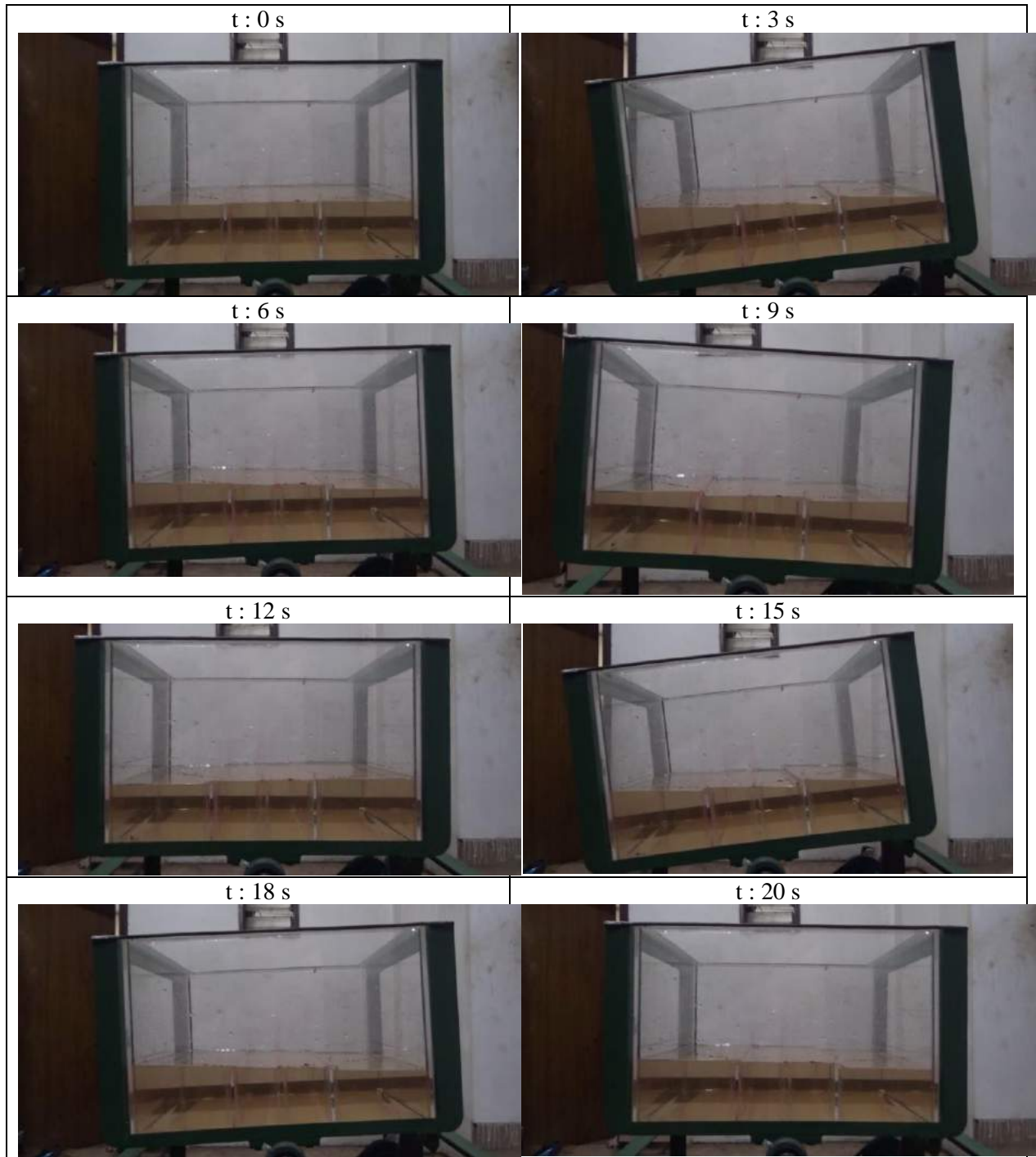
1 Baffle Filling Level 90%



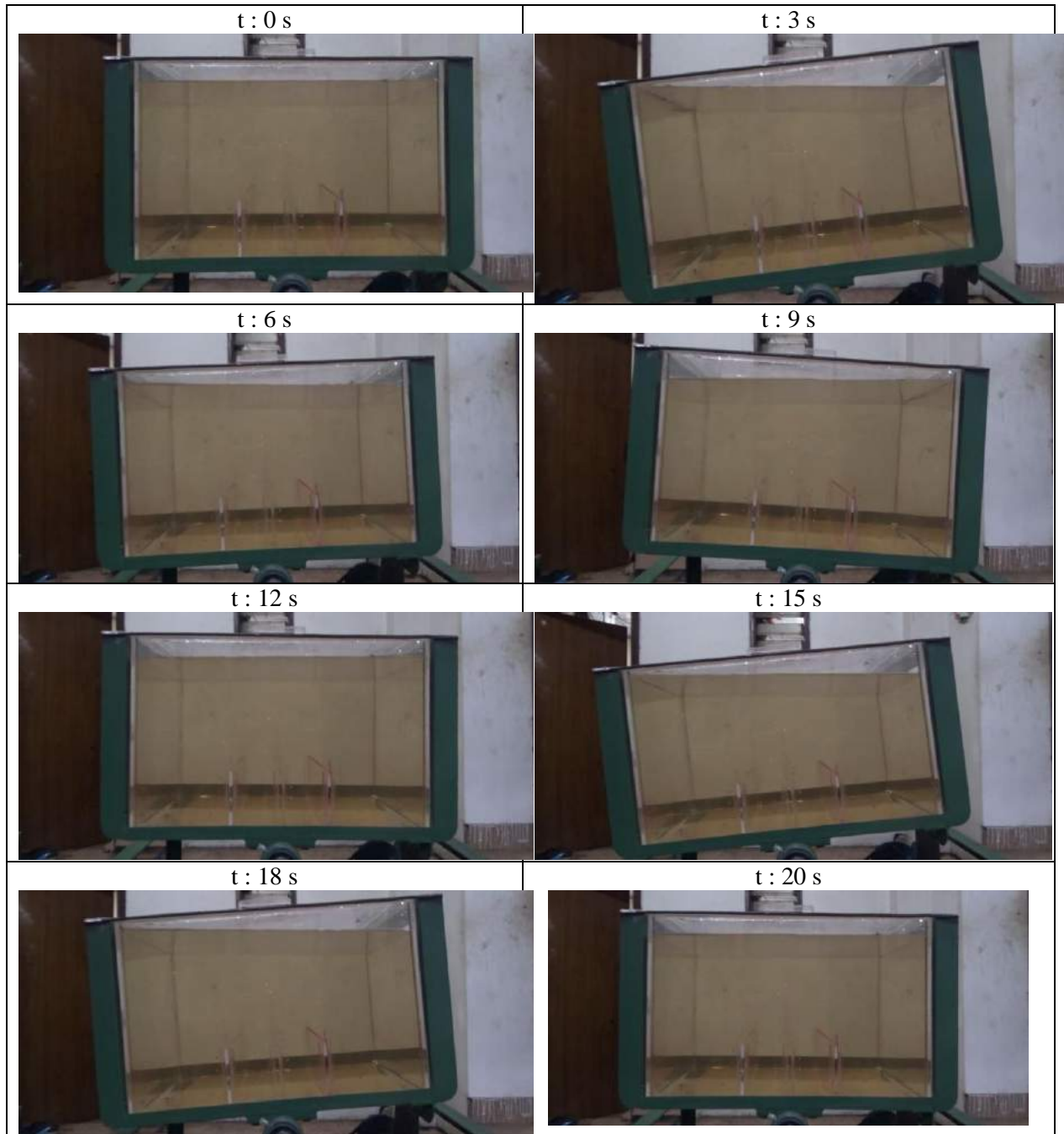
2 Baffle Filling Level 15%



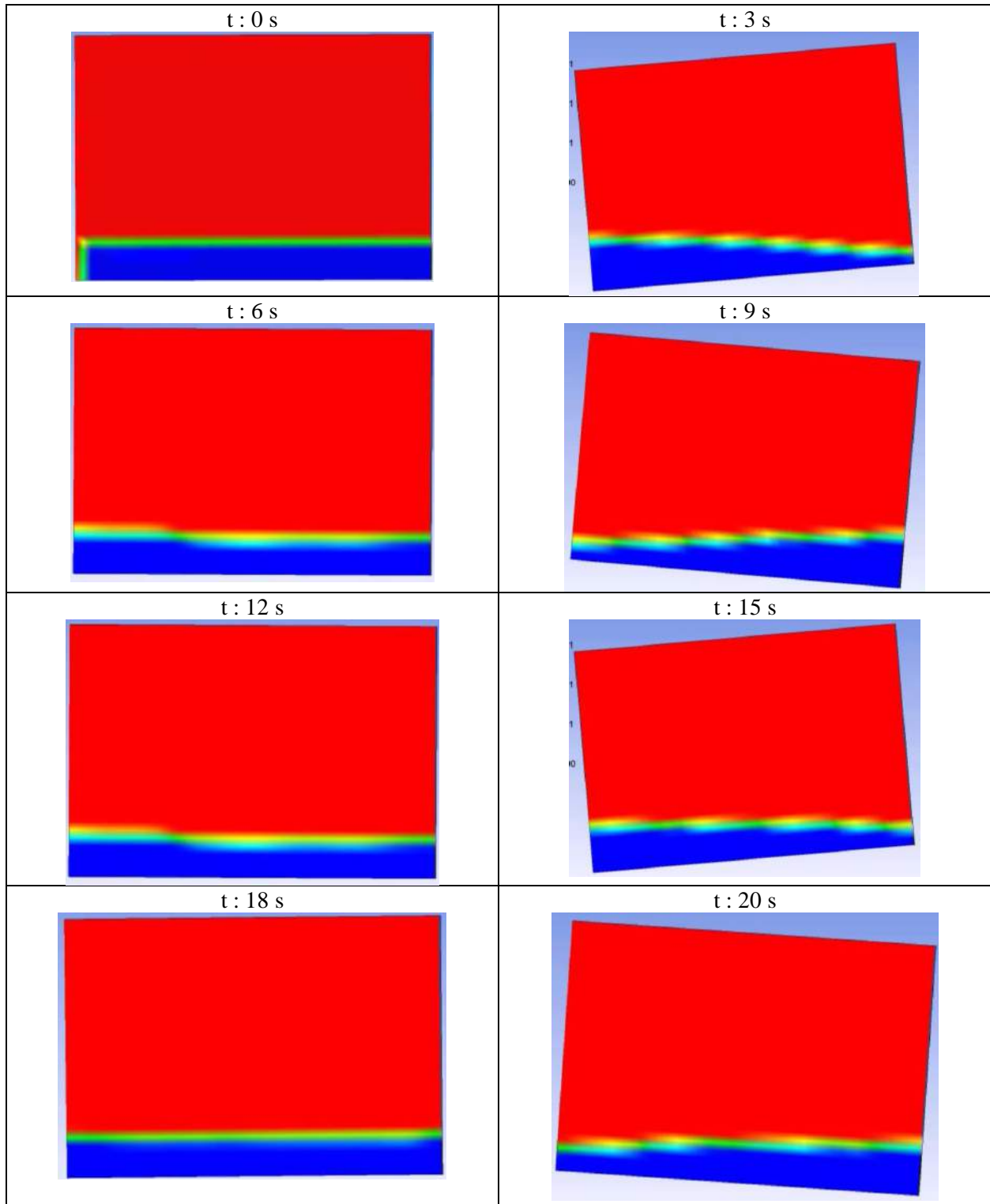
2 Baffle Filling Level 30%



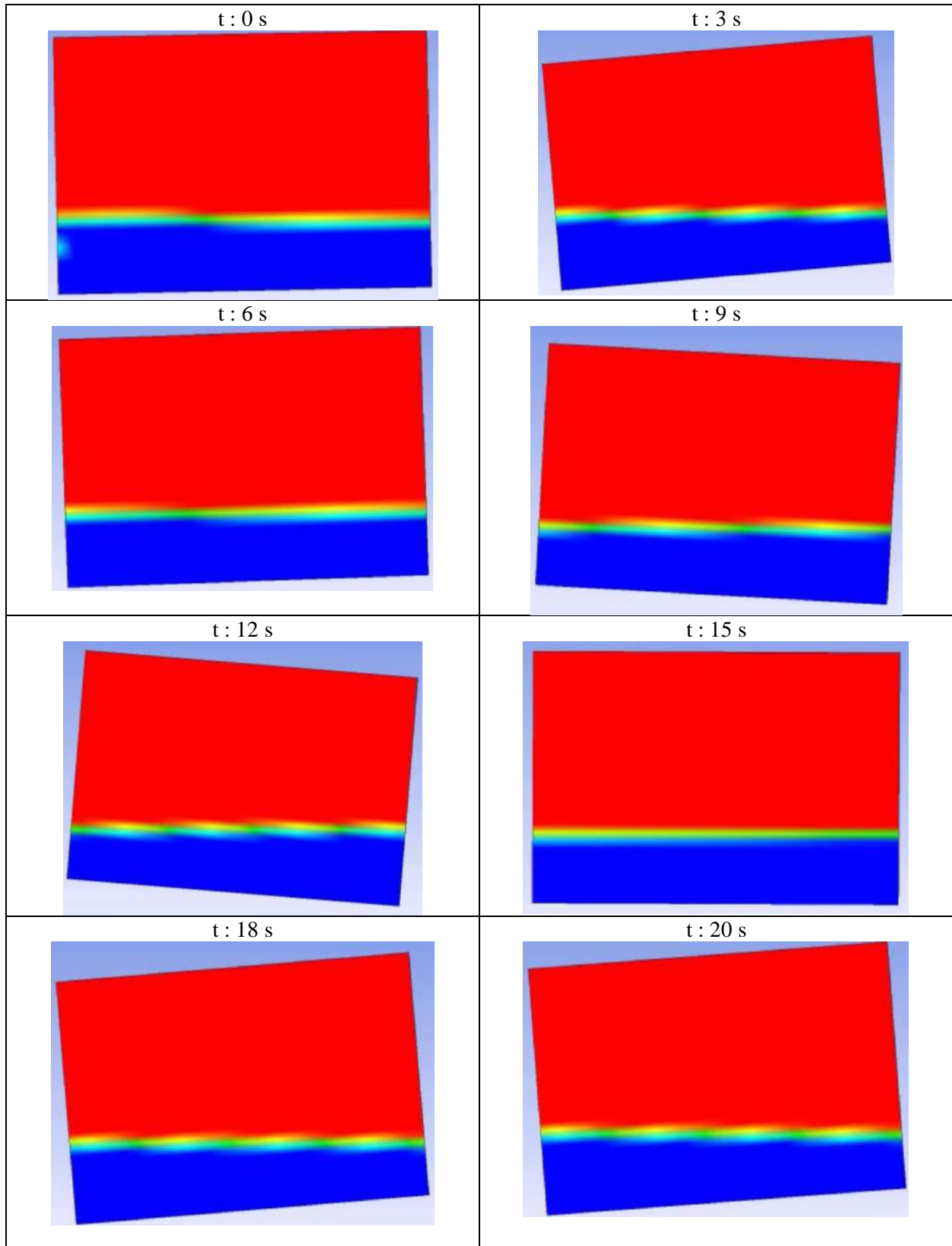
2 Baffle Filling Level 90%



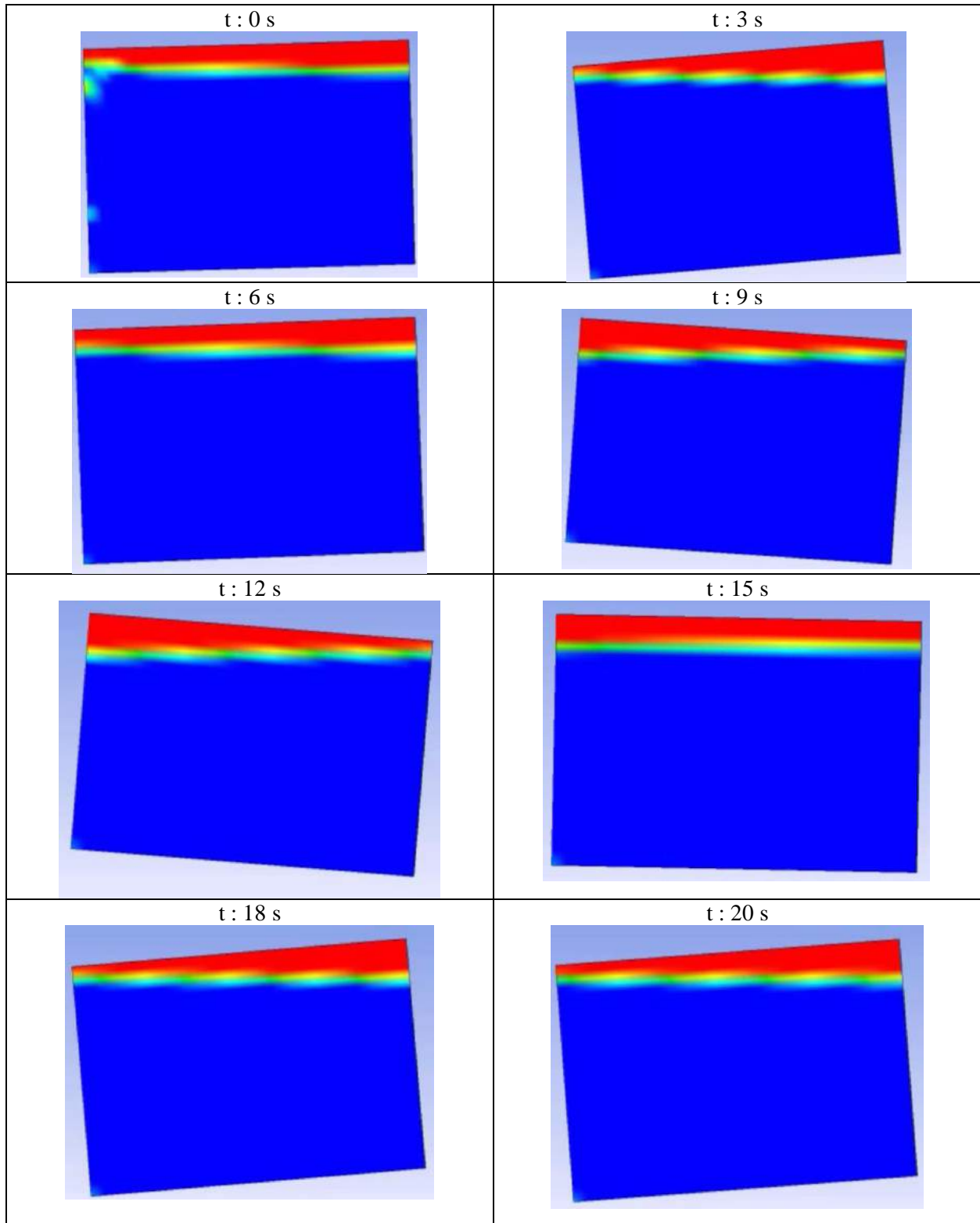
Non Baffle Filling Level 15%



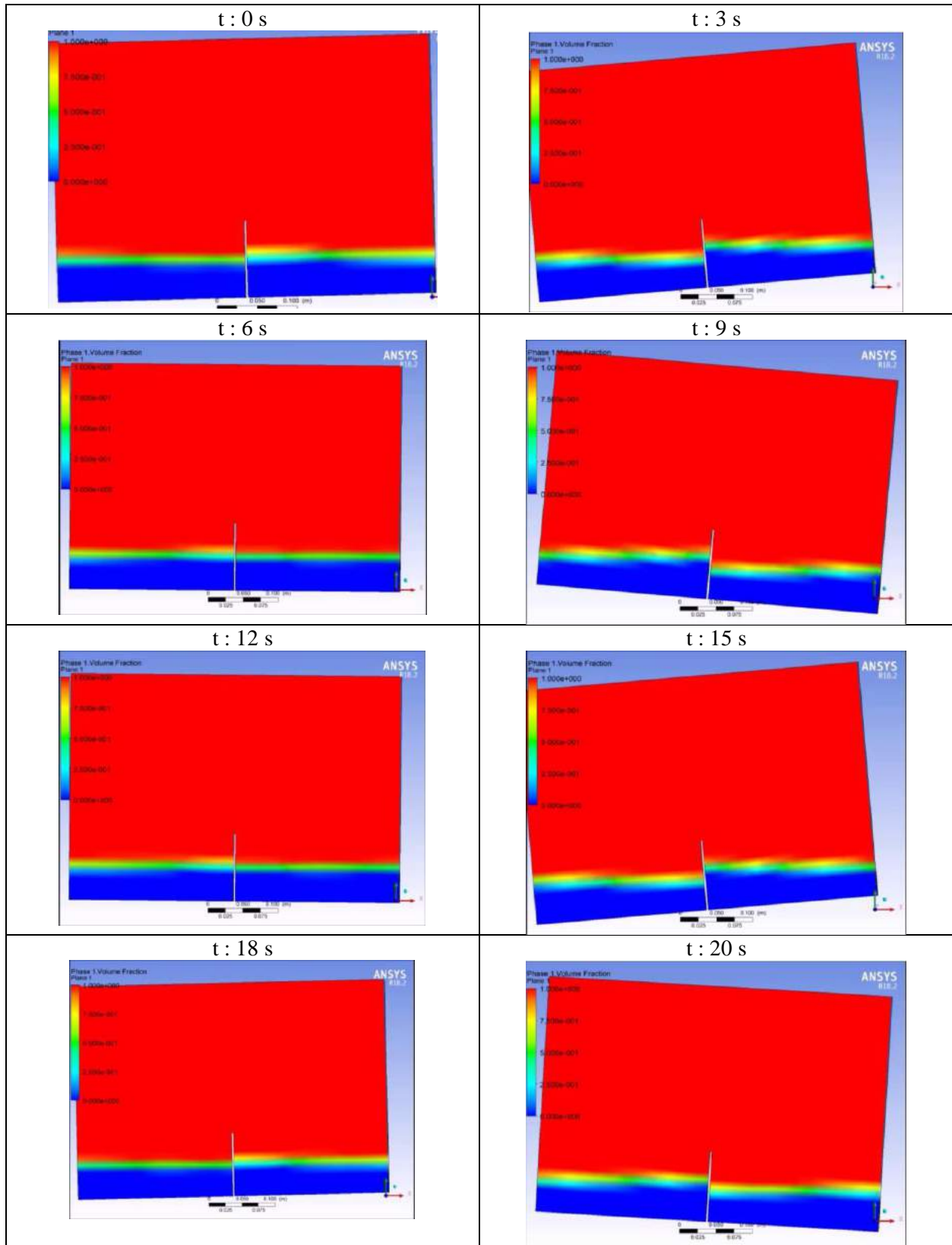
Non Baffle Filling Level 30%



Non Baffle Filling Level 90%

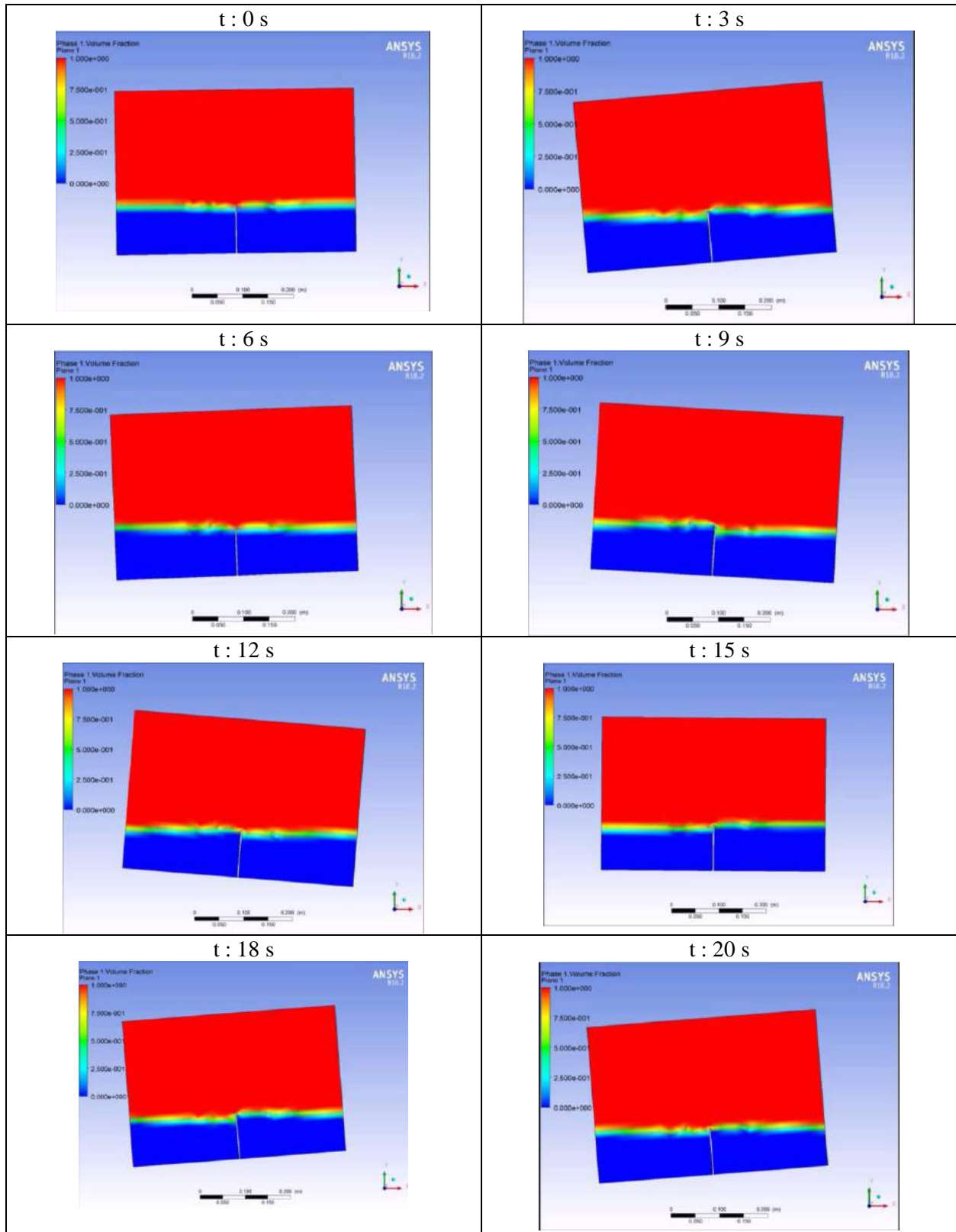


1 Baffle Filling Level 15%



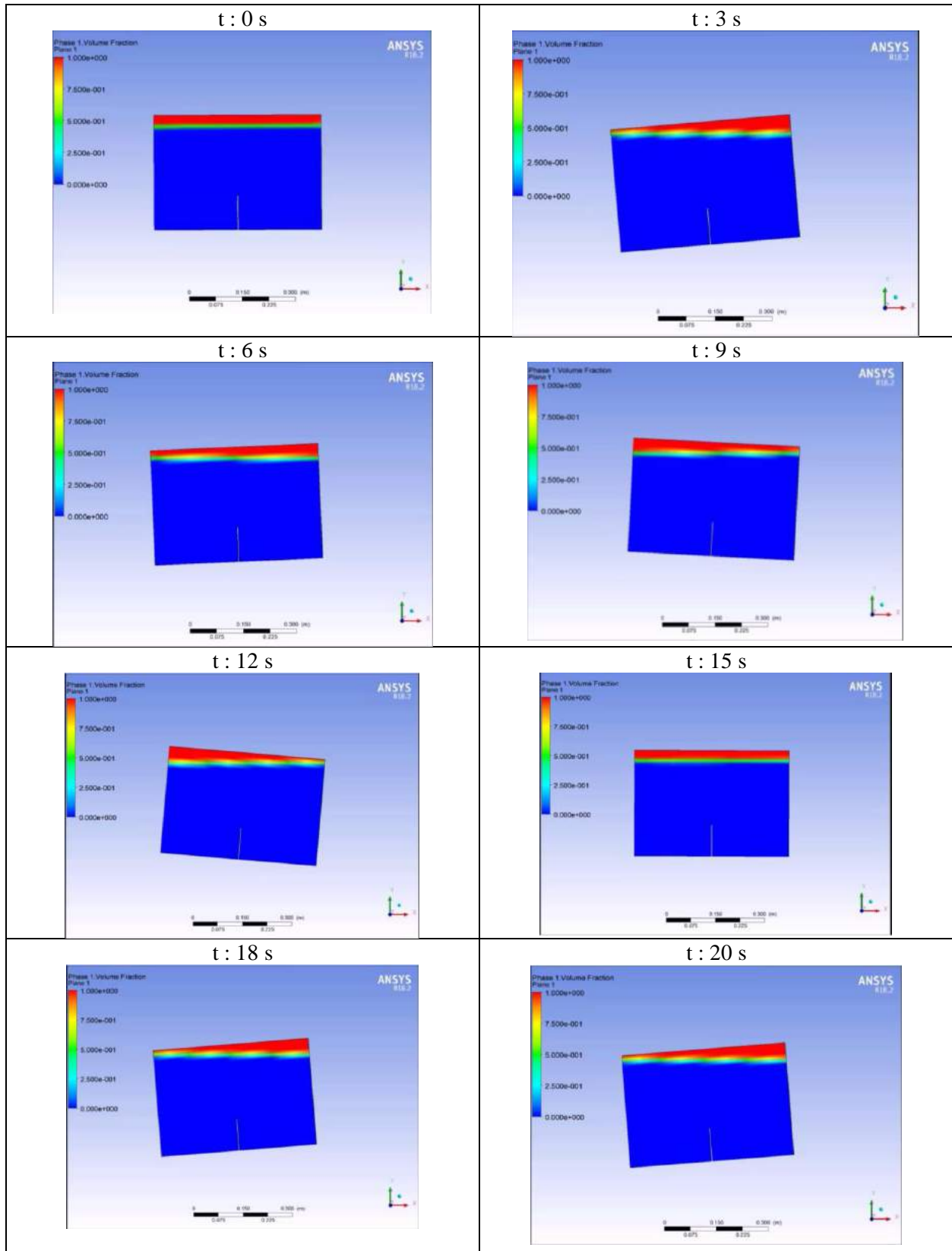
HASIL SIMULASI TANGKI DENGAN CFD ANSYS FLUENT

1 Baffle Filling Level 30%

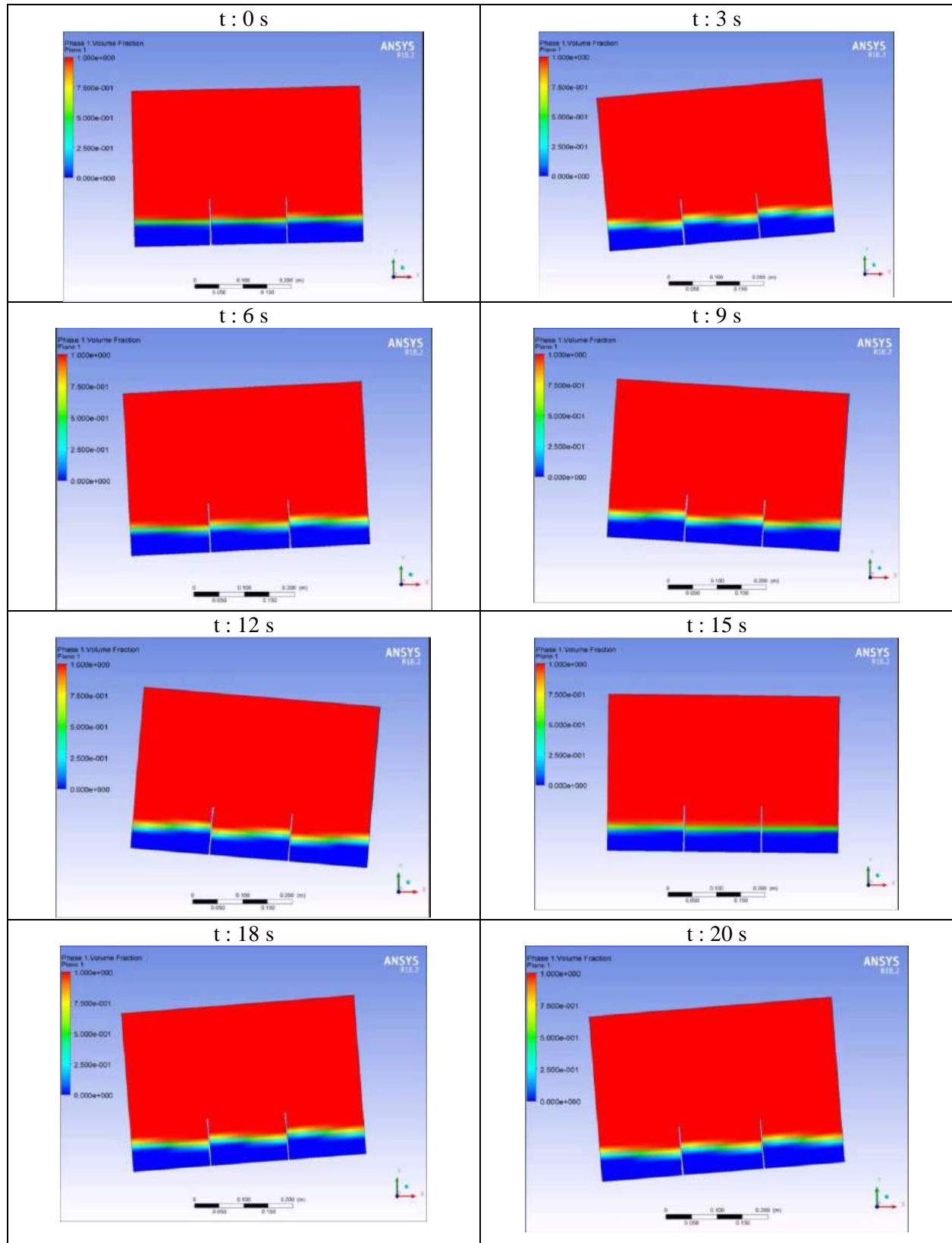


HASIL SIMULASI TANGKI DENGAN CFD ANSYS FLUENT

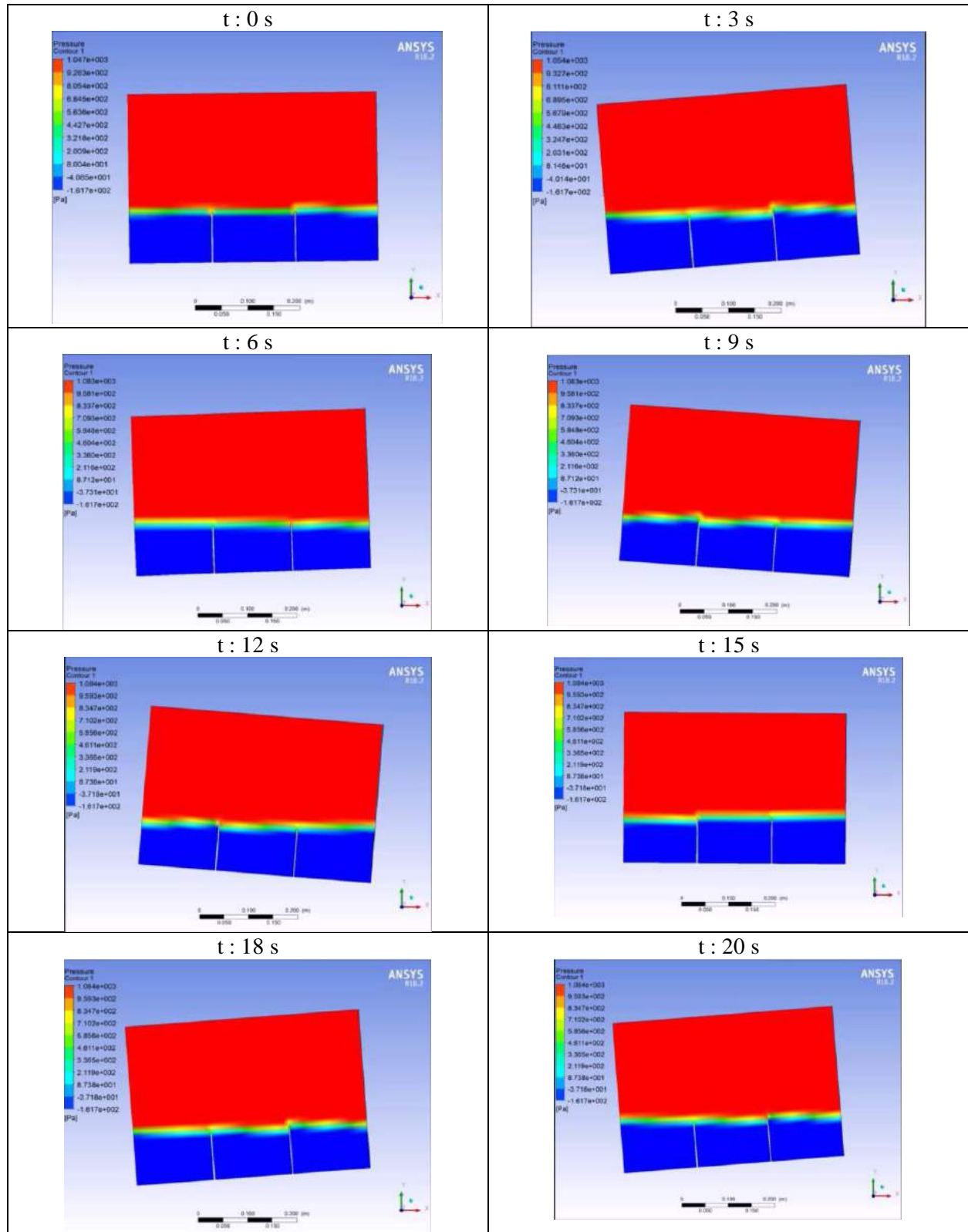
1 Baffle Filling Level 90%



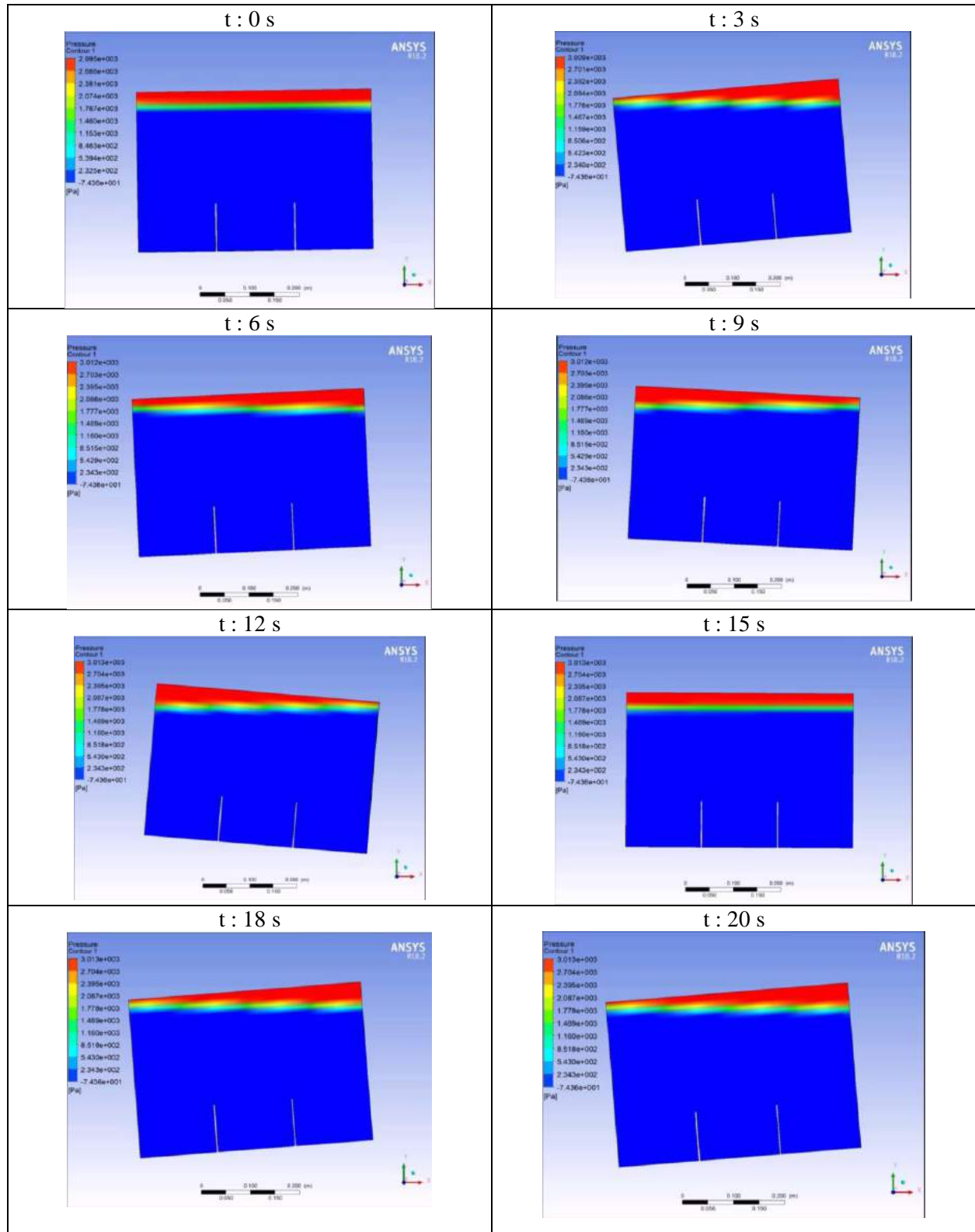
2 Baffle Filling Level 15%



2 Baffle Filling Level 30%



2 Baffle Filling Level 90%



Perhitungan Root Mean Square Error (RMSE) dan Standar Deviasi

Tangki Non Baffle pada Filling Level 15%

No	Pengujian (cm)	Simulasi (cm)	Selisih Kuadrat	RMSE	SD	Selisih
1	9.20	8.97	0.05	0.67	0.698337	0.03
2	9.03	8.44	0.35			
3	8.48	8.67	0.04			
4	8.50	7.81	0.48			
5	8.17	8.04	0.02			
6	7.74	6.95	0.62			
7	7.17	7.09	0.01			
8	6.60	5.67	0.86			
9	6.20	5.79	0.17			
10	5.65	4.81	0.71			
11	5.15	4.51	0.41			
12	4.69	3.52	1.37			
13	4.40	3.52	0.77			
Jumlah	90.98	83.79	5.85			

Tangki 1 Baffle pada Filling Level 15%

No	Pengujian (cm)	Simulasi (cm)	Selisih Kuadrat	RMSE	SD	Selisih
1	8.68	6.82	3.46	0.72	0.767575	0.05
2	7.69	7.22	0.22			
3	6.72	6.14	0.34			
4.1	5.74	5.62	0.01			
4.2	7.83	7.83	0.00			
5	6.61	6.41	0.04			
6	5.76	5.53	0.05			
7	4.65	4.65	0.00			
Jumlah	53.68	50.22	4.12			

Tangki 2 Baffle pada Filling Level 15%

No	Pengujian (cm)	Simulasi (cm)	Selisih Kuadrat	RMSE	SD	Selisih
1	7.39	6.34	1.10	0.83	0.862196	0.04
2	6.82	6.55	0.07			
3	6.24	5.22	1.04			
4.1	5.67	5.04	0.40			
4.2	7.14	5.67	2.16			
5	6.51	5.89	0.38			
6	5.88	4.93	0.90			
7.1	5.25	4.62	0.40			
7.2	6.3	5.25	1.10			
8	5.89	5.89	0.00			
9	5.47	4.94	0.28			
10	5.04	5.62	0.34			
Jumlah	73.60	65.96	8.18			

Hasil Simulasi Tangki dengan CFD ANSYS FLUENT

<i>Total Pressure Non Baffle 15%</i>			
<i>Time [s]</i>	<i>Bottom (Pa)</i>	<i>Wall Portside (Pa)</i>	<i>Wall Starboard (Pa)</i>
0.01	0	0	0
0.05	482.82	27.67	27.96
0.1	482.78	28.50	27.80
0.5	482.41	35.14	26.48
1	481.95	43.44	24.84
1.5	481.50	51.73	23.20
2	480.69	66.67	16.49
2.5	480.27	71.29	13.42
3	480.47	67.86	14.91
3.5	479.77	77.41	11.95
4	479.97	75.43	11.86
4.5	480.43	68.51	14.51
5	480.14	72.88	13.72
5.5	480.93	63.78	18.18
6	481.32	54.95	21.45
6.5	481.38	54.48	23.66
7	481.82	42.61	32.74
7.5	481.86	36.20	36.06
8	481.81	33.18	42.07
8.5	481.40	23.98	53.71
9	481.32	21.53	55.13
9.5	480.92	18.55	63.13
10	480.23	13.87	71.77
10.5	480.42	14.53	69.01
11	480.01	12.41	74.83
11.5	479.92	12.00	76.33
12	480.41	14.80	69.27
12.5	480.33	14.18	70.54
13	480.80	17.69	64.46
13.5	481.37	22.21	54.97
14	481.45	23.99	53.02
14.5	481.81	31.88	43.36
15	481.86	37.48	36.07
16.5	481.27	56.63	21.19
17	480.93	62.40	18.64
17.5	480.33	70.85	14.22
18	480.37	70.42	14.21
18.5	480.09	73.51	12.93
19	479.89	75.81	12.00
19.5	480.39	70.02	14.67
20	480.46	68.92	14.90

Hasil Simulasi Tangki dengan CFD ANSYS FLUENT

<i>Total Pressure Non Baffle 30%</i>			
<i>Time [s]</i>	<i>Bottom (Pa)</i>	<i>Wall Portside (Pa)</i>	<i>Wall Starboard (Pa)</i>
0.01	0	0	0
0.05	864.58	99.31	124.37
0.1	869.15	108.9	123.55
0.5	867.23	134	105.4
1	866.93	140.9	102.17
1.5	866.14	155.98	88.8
2	865.64	163.01	83.36
2.5	864.99	169.97	76.2
3	864.23	178.94	70.76
3.5	864.32	178.01	72.82
4	863.67	184.55	68.46
4.5	864.7	173.49	75.64
5	864.41	175.73	72.7
5.5	865.81	158.98	85.06
6	865.84	158.2	85.93
6.5	866.9	138.92	102.57
7	867.02	135.12	105.62
7.5	867.26	116.17	123.21
8	867.18	109.92	128.81
8.5	866.6	95.54	145.41
9	866.22	89.94	153.02
9.5	865.38	81.17	165.6
10	864.8	76.14	172.54
10.5	864.36	72.59	177.38
11	863.84	69.01	181.9
11.5	864.21	71.56	178.28
12	864.04	70.57	180.04
12.5	865.09	78.73	168.99
13	865.2	79.86	166.96
13.5	866.35	92.36	150.2
14	866.57	95.79	145.69
14.5	867.19	111.84	127.28
15	867.26	117.31	121.75
16.5	865.95	157.21	87.02
17	865.57	162.76	82.53
17.5	864.69	173.11	74.78
18	864.37	177.36	72.35
18.5	864.05	180.45	70.79
19	863.97	181.46	70.16
19.5	864.52	175.56	73.92
20	864.72	173.03	75.06

Hasil Simulasi Tangki dengan CFD ANSYS FLUENT

<i>Total Pressure Non Baffle 90%</i>			
<i>Time [s]</i>	<i>Bottom (Pa)</i>	<i>Wall Portside (Pa)</i>	<i>Wall Starboard (Pa)</i>
0.01	0	0	0
0.05	2801.16	1275.57	1281.28
0.1	2775.22	1213.09	1264.59
0.5	2795.91	1306.31	1187.92
1	2792.52	1298.07	1182.06
1.5	2789.72	1351.73	1127.36
2	2787.48	1380.14	1099.36
2.5	2786.43	1391.02	1088.94
3	2783.82	1414.19	1066.32
3.5	2784.03	1412.66	1067.98
4	2783.36	1418.76	1062.14
4.5	2784.36	1410.28	1070.31
5	2786.41	1390.52	1089.43
5.5	2787.94	1374.02	1105.27
6	2790.43	1341.88	1136.7
6.5	2792.29	1309.14	1168.55
7	2793.43	1276.59	1200.73
7.5	2793.87	1235.19	1242.1
8	2793.39	1200.67	1276.64
8.5	2792.08	1165.72	1311.98
9	2789.96	1131.31	1347.12
9.5	2788.04	1107.37	1371.81
10	2785.79	1084.28	1395.8
10.5	2784.06	1069.24	1411.3
11	2783.51	1064.45	1416.53
11.5	2783.22	1062.08	1418.88
12	2784.32	1071.21	1409.27
12.5	2786.13	1087.55	1392.57
13	2787.99	1107.07	1372.35
13.5	2790.38	1136.96	1341.57
14	2792.24	1168.27	1309.48
14.5	2793.47	1202.76	1274.6
15	2793.9	1242.09	1235.21
16.5	2790.08	1346.76	1131.86
17	2788.06	1372.52	1106.79
17.5	2785.86	1396.04	1084.27
18	2784.3	1410.46	1070.31
18.5	2783.62	1416.63	1064.5
19	2783.49	1417.73	1063.33
19.5	2784.58	1407.75	1072.7
20	2786.33	1391.53	1088.48

Hasil Simulasi Tangki dengan CFD ANSYS FLUENT

<i>Total Pressure 1 Baffle 15%</i>			
<i>Time [s]</i>	<i>Baffle (Pa)</i>	<i>Wall Portside (Pa)</i>	<i>Wall Starboard (Pa)</i>
0.00	0.00	0.00	0.00
1.50	121.34	51.52	28.35
2.00	125.59	53.69	25.17
2.50	127.24	54.31	24.04
3.00	124.35	56.35	24.35
3.50	125.29	55.93	24.18
4.00	126.65	52.93	25.14
4.50	123.22	50.84	27.81
5.00	121.59	47.69	30.48
5.50	122.80	42.58	33.44
6.00	121.20	38.72	37.77
6.50	120.48	35.36	41.83
7.00	123.19	31.35	45.42
7.50	124.39	28.31	49.29
8.00	124.17	26.64	52.55
8.50	126.17	24.94	54.07
9.00	127.17	24.17	54.83
9.50	125.59	24.87	54.70
10.00	125.03	26.05	52.80
10.50	124.81	27.79	50.00
11.00	122.84	30.76	46.77
11.50	121.54	34.41	42.61
12.00	121.68	37.87	38.25
12.50	121.30	41.95	34.56
13.00	121.79	46.37	31.25
13.50	123.94	49.94	28.07
14.00	125.01	52.98	25.89
14.50	125.20	55.22	24.57
15.00	126.05	55.93	23.80
15.50	126.22	55.46	24.07
16.00	124.90	54.11	25.33
16.50	124.00	51.34	27.18
17.00	123.04	47.67	29.78
17.50	121.61	43.80	33.23
18.00	121.09	39.61	37.00
18.50	121.65	35.52	40.83
19.00	122.28	32.04	45.10
19.50	123.56	29.06	48.78
20.00	125.17	26.61	51.82

Hasil Simulasi Tangki dengan CFD ANSYS FLUENT

<i>Total Pressure 1 Baffle 30%</i>			
<i>Time [s]</i>	<i>Baffle (Pa)</i>	<i>Wall Portside (Pa)</i>	<i>Wall Starboard (Pa)</i>
0.00	0.00	0.00	0.00
1.50	420.87	151.84	115.76
2.00	423.86	157.97	108.67
2.50	424.53	164.77	102.41
3.00	423.13	171.67	97.54
3.50	421.06	177.17	94.38
4.00	419.79	179.94	92.90
4.50	419.96	179.62	93.07
5.00	420.81	176.47	94.86
5.50	421.79	171.74	97.96
6.00	422.04	166.64	102.01
6.50	421.48	161.45	106.85
7.00	420.88	155.34	112.66
7.50	421.59	147.88	119.21
8.00	422.88	139.14	126.62
8.50	423.72	129.63	135.21
9.00	423.92	120.28	144.70
9.50	423.00	111.91	154.43
10.00	421.79	104.77	163.44
10.50	421.07	99.20	170.62
11.00	421.22	95.43	175.31
11.50	421.69	93.48	177.47
12.00	421.78	93.46	177.30
12.50	421.30	95.29	175.16
13.00	420.56	98.60	171.46
13.50	420.10	102.78	166.61
14.00	420.51	107.63	160.68
14.50	421.64	113.50	153.50
15.00	423.30	119.89	145.91
15.50	423.32	128.07	137.17
16.00	422.69	137.73	127.65
16.50	422.07	148.07	118.26
17.00	421.87	157.70	109.85
17.50	422.00	166.00	102.81
18.00	422.37	172.48	97.43
18.50	422.05	176.83	94.09
19.00	421.59	179.10	92.62
19.50	420.97	179.14	92.91
20.00	420.49	176.71	94.88

Hasil Simulasi Tangki dengan CFD ANSYS FLUENT

<i>Total Pressure 1 Baffle 90%</i>			
Time [s]	Baffle (Pa)	Wall Portside (Pa)	Wall Starboard (Pa)
0.00	0.00	0.00	0.00
1.50	2358.90	1409.05	1190.12
2.00	2357.07	1438.53	1161.36
2.50	2355.23	1462.20	1138.31
3.00	2353.97	1476.75	1124.21
3.50	2353.08	1486.12	1115.11
4.00	2353.21	1485.12	1116.09
4.50	2354.00	1477.28	1123.76
5.00	2355.25	1461.66	1138.82
5.50	2357.10	1438.13	1161.81
6.00	2358.86	1409.76	1189.50
6.50	2360.50	1375.85	1222.85
7.00	2361.57	1338.93	1259.32
7.50	2361.90	1300.77	1296.94
8.00	2361.53	1262.18	1335.87
8.50	2360.40	1226.30	1372.30
9.00	2358.73	1193.39	1405.72
9.50	2356.87	1165.21	1434.54
10.00	2355.13	1143.58	1456.88
10.50	2353.74	1128.24	1472.72
11.00	2353.02	1120.90	1480.28
11.50	2353.06	1121.29	1479.87
12.00	2353.84	1129.33	1471.62
12.50	2355.27	1145.29	1455.07
13.00	2357.06	1167.70	1432.08
13.50	2358.90	1196.33	1402.82
14.00	2360.49	1229.61	1369.01
14.50	2361.54	1265.90	1332.28
15.00	2361.88	1304.35	1293.56
15.50	2361.46	1342.54	1255.80
16.00	2360.31	1379.06	1219.71
16.50	2358.65	1412.51	1186.81
17.00	2356.88	1440.71	1159.33
17.50	2355.13	1463.17	1137.49
18.00	2353.80	1478.40	1122.66
18.50	2353.13	1485.55	1115.68
19.00	2353.16	1485.35	1115.99
19.50	2353.99	1476.14	1124.79
20.00	2355.39	1459.65	1140.81

Hasil Simulasi Tangki dengan CFD ANSYS FLUENT

<i>Total Pressure 2 Baffle 15%</i>				
<i>Time [s]</i>	<i>Baffle 1 [Pa]</i>	<i>Baffle 2 [Pa]</i>	<i>Wall Portside (Pa)</i>	<i>Wall Starboard (Pa)</i>
0	0	0	0	0
0.5	114.18	114.43	39.45	35.11
1	114.82	115.26	41.39	33.01
1.5	115.49	115.99	43.29	31.21
2	116.05	116.73	44.94	29.66
2.5	116.67	117.44	46.25	28.53
3	116.86	117.78	47.15	27.67
3.5	117.33	118.17	47.6	27.29
4	117.04	118.1	47.47	27.29
4.5	117.18	117.89	47.1	27.71
5	116.6	117.65	45.97	28.6
5.5	116.4	117.02	44.82	29.79
6	115.72	116.56	42.85	31.31
6.5	115.64	116	41.07	33.12
7	114.95	115.6	38.63	35.04
7.5	115.13	115.22	36.7	37.12
8	115.23	115.05	34.56	39.2
8.5	115.86	115.22	32.83	41.26
9	116.27	115.68	31.05	43.27
9.5	116.97	116.2	29.74	45.01
10	117.2	116.59	28.52	46.37
10.5	117.7	116.97	27.85	47.33
11	117.71	116.99	27.42	47.78
11.5	117.79	117.07	27.49	47.78
12	117.57	116.81	27.92	47.23
12.5	117.16	116.55	28.68	46.25
13	116.99	116.35	29.91	44.81
13.5	116.38	115.93	31.33	43.08
14	116.13	115.65	33.09	41.06
14.5	115.66	115.34	35.03	38.87
15	115.35	115.19	37.12	36.61
15.5	115.12	115.36	39.16	34.58
16	115.37	115.89	41.23	32.69
16.5	115.79	116.42	43.21	31.02
17	116.3	116.92	44.97	29.61
17.5	116.61	117.37	46.31	28.56
18	117	117.62	47.29	27.8
18.5	117	117.79	47.71	27.47
19	117.05	117.74	47.7	27.51
19.5	116.87	117.61	47.13	27.96
20	116.57	117.21	46.16	28.78

Hasil Simulasi Tangki dengan CFD ANSYS FLUENT

<i>Total Pressure 2 Baffle 30%</i>				
<i>Time [s]</i>	<i>Baffle 1 [Pa]</i>	<i>Baffle 2 [Pa]</i>	<i>Wall Portside (Pa)</i>	<i>Wall Starboard (Pa)</i>
0	0	0	0	0
0.5	458.89	457.98	151.62	142.24
1	464.02	456.39	156.76	135.24
1.5	470.44	449.89	164.9	127.76
2	476.79	440.93	174.43	120.92
2.5	482.21	432.69	183.21	115.35
3	486.64	425.69	190.35	111.13
3.5	490.16	420.12	195.61	108.31
4	492.57	416.66	198.2	107.12
4.5	494.07	415.72	197.55	107.44
5	494.63	417.22	194.28	108.92
5.5	495	420.35	188.94	111.19
6	495.5	424.89	182.37	114.16
6.5	494.55	430.28	174.44	118.25
7	491.36	437.53	165.14	123.81
7.5	486.48	446.26	155.15	130.48
8	476.94	454.73	145.21	140.15
8.5	464.27	463.35	135.31	151.85
9	450.78	471.07	126.94	164.5
9.5	439.55	477.65	120.08	175.8
10	430.96	483.13	114.57	184.82
10.5	424.34	487.58	110.48	191.72
11	419.07	491.09	107.82	196.52
11.5	415.92	493.39	106.72	198.69
12	415.08	494.72	107.12	197.94
12.5	417.22	495.11	108.67	194.27
13	420.39	495.55	110.96	188.93
13.5	424.84	495.88	113.96	182.3
14	430.34	494.75	118.21	174.33
14.5	437.76	491.39	123.87	164.89
15	446.67	486.08	130.83	154.74
15.5	455.27	476.25	140.66	144.72
16	463.9	463.49	152.42	134.87
16.5	471.55	450.07	165.04	126.59
17	478.01	439.08	176.22	119.85
17.5	483.44	430.71	185.07	114.41
18	487.84	423.98	191.89	110.41
18.5	491.23	418.94	196.5	107.86
19	493.34	415.92	198.56	106.84
19.5	494.39	415.54	197.53	107.31
20	494.99	417.72	193.8	108.91

Hasil Simulasi Tangki dengan CFD ANSYS FLUENT

<i>Total Pressure 2 Baffle 90%</i>				
<i>Time [s]</i>	<i>Baffle 1 [Pa]</i>	<i>Baffle 2 [Pa]</i>	<i>Wall Portside (Pa)</i>	<i>Wall Starboard (Pa)</i>
0	0	0	0	0
0.5	2371.63	2348.43	1325.36	1255.85
1	2387.43	2330.54	1367.55	1214.7
1.5	2397.1	2317.73	1399.02	1183.68
2	2406.23	2305	1428.09	1155.35
2.5	2413.2	2294.27	1452.3	1131.84
3	2417.05	2288.04	1466.19	1118.42
3.5	2419.8	2283.49	1475.96	1109
4	2419.39	2284.19	1474.53	1110.37
4.5	2417.23	2287.8	1466.47	1118.12
5	2412.87	2294.84	1450.87	1133.25
5.5	2405.87	2305.54	1426.74	1156.76
6	2397.34	2317.65	1398.49	1184.28
6.5	2386.22	2332.03	1363.92	1218.18
7	2373.69	2346.67	1327.01	1254.59
7.5	2359.93	2361.13	1288.84	1292.33
8	2344.9	2375.27	1249.83	1331.73
8.5	2330.52	2387.39	1214.27	1367.77
9	2316.36	2398.22	1180.99	1401.72
9.5	2303.92	2406.95	1152.92	1430.65
10	2294.14	2413.25	1131.57	1452.64
10.5	2286.83	2417.74	1116.01	1468.74
11	2283.58	2419.66	1109.15	1475.93
11.5	2283.74	2419.57	1109.63	1475.58
12	2287.62	2417.28	1117.78	1467.04
12.5	2295.24	2412.59	1134.09	1450.2
13	2305.37	2405.98	1156.4	1427.2
13.5	2318.15	2396.92	1185.36	1397.39
14	2332.22	2385.96	1218.81	1363.37
14.5	2346.83	2373.46	1255.13	1326.58
15	2361.66	2359.4	1293.78	1287.66
15.5	2375.33	2344.81	1332.08	1249.65
16	2387.7	2330.12	1368.71	1213.31
16.5	2398.36	2316.17	1402.19	1180.44
17	2406.91	2304	1430.49	1152.99
17.5	2413.39	2293.99	1453.01	1131.14
18	2417.54	2287.25	1467.92	1116.7
18.5	2419.52	2283.85	1475.45	1109.69
19	2419.3	2284.19	1474.69	1110.65
19.5	2416.77	2288.4	1465.33	1119.47
20	2412.22	2295.8	1449.02	1135.33

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Klaten, Jawa Tengah pada tanggal 10 Maret 1993 dengan nama Muhammad Arif Pradana dan merupakan anak pertama dari 2 bersaudara, dari pasangan Sukimin dan Marsini. Penulis menempuh jenjang pendidikan mulai dari TK Mutihan 01 (1997-1999), SD Negeri Mutihan (1999-2005), SMP Negeri 1 Gantiwarno (2005-2008) dan SMA Negeri 1 Klaten (2008 - 2011). Setelah lulus dari bangku Sekolah Menengah Atas (SMA), penulis diterima di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember melalui jalur penerimaan SNMPTN Undangan pada tahun 2011. Setelah itu pada tahun 2017 penulis melanjutkan pendidikan menempuh studi magister di Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Selama menempuh masa studi S1 maupun S2, penulis aktif di berbagai kegiatan dan organisasi di bidang akademik maupun non akademik. Diantaranya saat menempuh pendidikan S1 adalah organisasi kemahasiswaan seperti Ketua KMKS (2012-2013), Pengurus KMKI (2012-2013), HIMASISKAL (Himpunan Mahasiswa Jurusan Teknik Sistem Perkapalan) FTK-ITS sebagai Ketua HIMASISKAL FTK ITS (2013-2014) dan BEM ITS sebagai menteri PSDM BEM ITS (2014-2015) serta *student member* dari IMarEST Indonesia Timur (*The Institute of Marine Engineering, Science and Technology*) dan anggota dari *Reliability and Safety Laboratory* DTSP ITS. Dalam bidang akademis, penulis memiliki minat dalam bidang *pipeline design*, *marine mechanical engineering*, *risk assessment*, *safety engineering*. Kemudian pada saat menempuh studi S2 penulis juga aktif dalam kegiatan social seperti aktif berkecimpung di Yayasan Pengembangan SDM IPTEK dan Pendamping Beasiswa Kader Surau YBM BRI, serta dalam bidang akademis penulis memiliki minat dalam bidang Hidrodinamika.

Muhammad Arif Pradana
Mahasiswa Pasca Sarjana
Departemen Teknik Perkapalan FTK-ITS
arifpradana9@gmail.com
085733050769